An aerial photograph of a large, deep blue lake surrounded by dense green forests. Several small islands and peninsulas are visible. In the lower right, a white building with a yellow onion-shaped dome, likely a church, sits on a small island. A long, narrow pier or causeway extends from the left side of the lake towards the center. The water shows some ripples and small waves near the shorelines.

Г. В. Шильцова, Р. М. Морозова,  
П. Ю. Литинский

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И СЕРА  
В ПОЧВАХ ВАЛЯАМСКОГО АРХИПЕЛАГА**



КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ИНСТИТУТ ЛЕСА

KARELIAN RESEARCH CENTRE  
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
FOREST RESEARCH INSTITUTE



G. V. Shiltsova, R. M. Morozova, P. Yu. Litinskiy

# HEAVY METALS AND SULPHUR IN VALAAM ARCHIPELAGO SOILS

PETROZAVODSK  
2008

Г. В. Шильцова, Р. М. Морозова, П. Ю. Литинский

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И СЕРА  
В ПОЧВАХ ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА**

ПЕТРОЗАВОДСК  
2008

УДК 630\*114.26(470.22:210.7)  
ББК 40.3  
Ш 60

**Шильцова Г. В., Морозова Р. М., Литинский П. Ю.** Тяжелые металлы и сера в почвах Валаамского архипелага. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 109 с.: ил. 29, табл. 15. Библиогр. 46 назв.

ISBN 978-5-9274-0354-7

В книге впервые представлены результаты изучения современного уровня содержания хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, меди, цинка, кадмия, свинца и серы в основных типах почв Валаама. Получены фоновые средние значения и дана эколого-геохимическая оценка состояния почв. Приведены сведения об уровне почвенной кислотности и ее пространственной изменчивости. Серия компьютерных карт отражает территориальное распределение исследованных элементов в почвенном покрове уникальной охраняемой островной экосистемы Карелии.

Для широкого круга специалистов, занимающихся проблемами геохимии, почвоведения, экологии. Данная работа может быть использована при проведении комплексной оценки состояния окружающей среды, разработке природоохранных мероприятий.

**Shiltsova G. V., Morozova R. M., Litinskiy P. Yu.** Heavy metals and sulphur in Valaam Archipelago soils. Petrozavodsk: Karelian Research Centre Russian Academy of Science, 2008. 109 p.: 29 fig., 15 tab., 46 ref.

The book is a first account of the results of research into contemporary concentrations of chromium, manganese, iron, cobalt, nickel, copper, zinc, cadmium, lead and sulphur in the main types of Valaam soils. Mean reference values were determined and ecological-geochemical assessment of soil condition was carried out. Data of soil acidity and its spatial variability are provided. A series of computer-made maps reflects the spatial distribution of the elements in question in the soil cover of this unique protected insular ecosystem of Karelia.

Meant for a wide range of specialists in geochemistry, pedology, ecology. The publication would be of use in a comprehensive environmental assessment or when working out nature conservation measures.

Ответственный редактор  
д.с.-х.н. Н. Г. Федорец

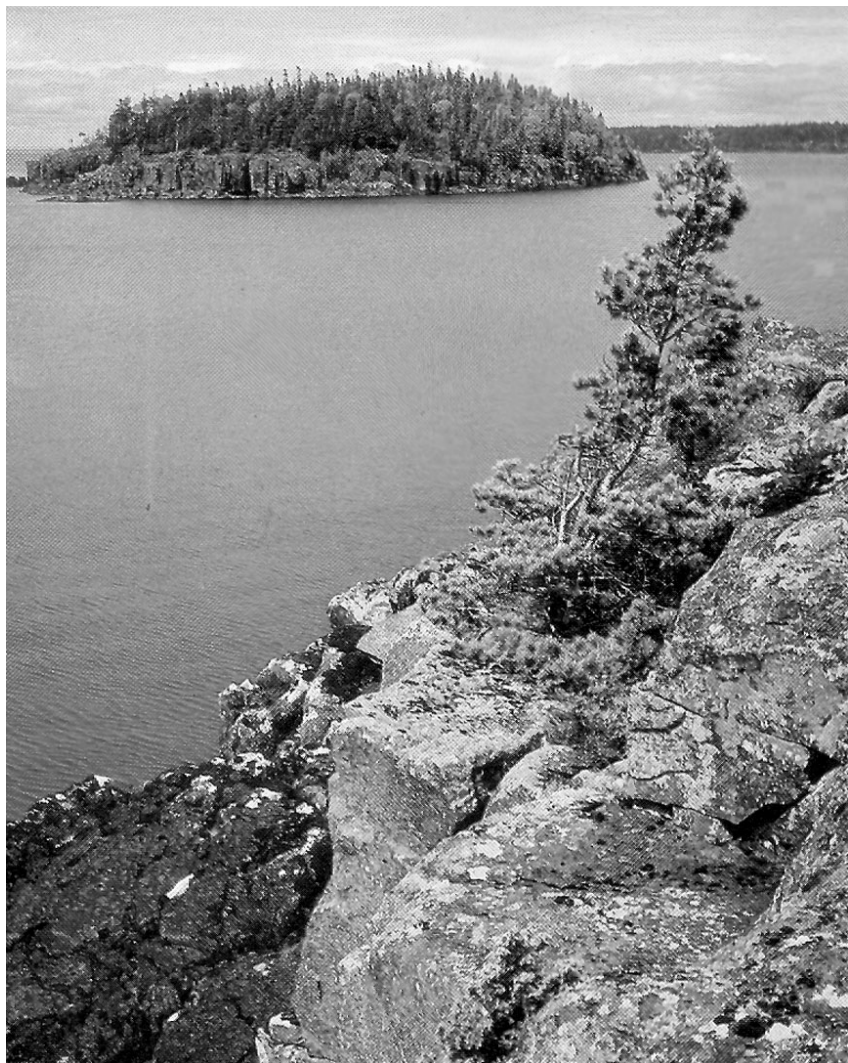
Рецензенты:  
к.б.н. О. Н. Бахмет  
к.б.н. Г. Ф. Лайдинен

ISBN 978-5-9274-0354-7

© Институт леса КарНЦ РАН, 2008  
© Карельский научный центр РАН, 2008

Настоянный на запахах сосны  
Был воздух просто сказочно целебен.  
Шум крон среди полнотной тишины  
Звучал, как благодарственный молебен.

*Из поэтической тетради А. Н. Белова*



## ВВЕДЕНИЕ

Валаамский архипелаг является уникальной островной экосистемой самого крупного пресноводного водоема Европы – Ладожского озера. Широкую известность ему принесли своеобразные памятники истории и архитектуры, происхождение которых связано с деятельностью Спасо-Преображенского Валаамского мужского монастыря Русской православной церкви, основанного в XIV веке. В сочетании с величественными прибрежными скалами, живописными заливами и бухтами, пышной зеленью первозданных хвойных лесов и непривычных для севера рощ, аллей и садов, они составили гармоничные ансамбли, представляющие неповторимое слияние природы и архитектуры.

Уникальны буроземные почвы Валаама, формирование которых связано с особенностями минералогического состава габбро-диабазов. На Северо-Западе России это единственная обширная территория выхода на поверхность массивно-кристаллических пород основного состава (габбро-диабазов). Почвы на выходах габбро-диабазов отличаются относительно высоким естественным плодородием по сравнению с материковыми почвами, развивавшимися на кислых породах. Поскольку почвы островной экосистемы маломощны и неустойчивы к антропогенному воздействию, они нуждаются в особой заботе и постоянной охране [20]. В связи с этим все хозяйственные мероприятия, проводимые на острове, должны быть строго регламентированы и обязаны иметь щадящий характер.

В 1979 г. вся территория архипелага получила официальный статус Государственного историко-архитектурного и природного музея-заповедника. В 1999 г., после выделения вокруг островов двухкилометровой полосы охраняемых акваторий и передачи

культовых памятников Валаамскому монастырю, острову придан статус природного парка «Валаамский архипелаг» (24 700 га). В связи с удаленностью от суши и отсутствием промышленного производства замкнутая островная экосистема представляет собой уникальную модель для изучения состояния незагрязненной природной среды и организации фонового мониторинга.

В Карелии значительно атмосферное загрязнение окружающей среды [12, 23]. Среди многочисленных загрязнителей наиболее токсичны тяжелые металлы и сера. Они переносятся на большие расстояния от источника загрязнения и могут оказывать негативное воздействие как на природные комплексы, так и на исторические памятники островов. Вследствие высокой биологической активности, эти поллютанты, попадая в почву, вовлекаются в биологический круговорот. Включение их в количествах, значительно превышающих имевшиеся уровни, приводит к изменению устойчивого естественного фона территории, а их накопление в различных компонентах экосистем – к нарушению их нормального функционирования.

Несмотря на отсутствие промышленной агломерации на самом острове Валаам, возможно поступление аэрополлютантов с территории Карельского Приладожья, на юге – из Ленинградской промышленно насыщенной области. Не исключен также трансграничный атмосферный перенос загрязняющих веществ из стран Северной Европы. Очевидно, что все компоненты природного комплекса Валаама в силу своей исторической и природной ценности должны быть объектами мониторинга, в том числе почвы, которые являются одним из основных компонентов экосистемы архипелага.

Валааму посвящены разные по тематике публикации. Начиная с 70-х гг. прошлого столетия Институт леса Карельского научного центра РАН систематически проводит комплексные исследования природных экосистем Валаама. Некоторые результаты этих работ представлены в книгах «Природные комплексы Валаама и воздействие на них рекреации» [32], «Экосистемы Валаама и их охрана» [46], включающие материалы и о свойствах почв. Наконец, в монографии Р. М. Морозовой, И. П. Лазаревой «Почвы и почвенный покров Валаамского архипелага» [26] систематизированы и наиболее



полно приведены материалы по генезису и плодородию лесных и освоенных почв, представлена лесорастительная и рекреационная группировка почв, дана подробная характеристика структуры почвенного покрова с почвенной картой-схемой. Сведений же о содержании микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, в почвах Валаама крайне мало, и они относятся только к почвам сельскохозяйственных полей [9].

Данная работа посвящена изучению современного уровня содержания тяжелых металлов и серы в почвах Валаамского архипелага. Впервые представлены результаты почвенно-геохимического обследования, приводятся фоновые значения исследованных ингредиентов, дана оценка уровней их содержания. Серия карт отражает территориальное распределение почвенной кислотности, концентрации тяжелых металлов и серы в почвенном покрове этой уникальной островной экосистемы Карелии.

Работа выполнена в Институте леса Карельского научного центра РАН. Авторы выражают признательность коллективу аналитической лаборатории института, а также ведущему химику лаборатории лесного почвоведения и микробиологии В. Г. Ласточкиной за выполнение химических анализов.

## ГЛАВА 1

### ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Валаамский архипелаг находится в северной части Ладожского озера (61° с. ш. и 31° в. д.) в 40 км от города Сортавалы. Он включает более полусотни островов общей площадью 3600 га, самым крупным из которых является остров Валаам (2845 га).

Острова имеют тектоническое происхождение, их образование связано с поднятием одного из блоков крупной интрузии габбро-диабазов в кристаллическом фундаменте Ладожской котловины. Диабазы, слагающие острова, представляют собой темно-серую, плотную кристаллическую породу, в составе которой преобладают плагиоклазы и пироксены, присутствуют ортоклаз, амфибол, титано-магнетит, апатит и другие минералы, из вторичных минералов – серпентин, хлорит [19]. От преобладающих кислых пород (гранитов, гранито-гнейсов) Балтийского кристаллического щита они отличаются низким содержанием кремнезема, значительным содержанием оксидов Са, Mg, Р, Ti и очень высоким – оксидов железа (табл. 1).

*Рельеф* островов относится к денудационно-тектоническому сильно расчлененному типу: скалистые гряды и крупные приподнятые массивы разделены системой лощин, заливов и озер, приуроченных к тектоническим разломам и трещинам. Северо-западная часть архипелага приподнята относительно юго-восточной и восточной на 20–30 м. В центре острова Валаам находится обширное понижение с абсолютными отметками ниже 10 м н. у. м., придающее поверхности острова вогнутую форму. Его неотъемлемым элементом являются высокие, до 50 м, прибрежные скалы в западной части и выположенные «бараньи лбы» вдоль восточного побережья. Сложность рельефа определяет

резкую контрастность условий увлажнения, богатство флористического состава, многообразие почв и пестроту почвенного покрова.

*Почвообразующие породы*, их состав и свойства – один из главных факторов, определяющих специфику почвообразования на Валааме. Среди почвообразующих пород преобладают элювий и элюво-делювий габбро-диабазов, моренные, озерно-ледниковые и озерные отложения [22, 27, 45]. Элювий представляет собой щебнисто-дресвянистую массу с небольшой примесью мелкозема (частиц диаметром менее 1 мм). Содержание тонких илистых частиц очень мало (табл. 2). Элюво-делювий содержит больше мелкозема и пылеватых и илистых частиц. Элювий обычно покрывает выположенные вершины гряд, а элюво-делювий – террасированные склоны и подножия кристаллических гряд. Моренные и озерно-ледниковые отложения очень разнообразны по гранулометрическому составу: от хрящеватых песков до пылеватых суглинков. Они покрывают невысокие гряды, склоны селыг и равнины. Озерные отложения представлены однородными песками или ленточными глинами. Сортированными озерными песками обычно заполнены лощины, а ленточные глины приурочены к понижениям, расположенным в основном в центре острова Валаам. Пересеченность рельефа и сложность его развития способствуют формированию многочисленных отложений. По химическому составу они разделяются на три группы.

*Таблица 1*

Химический состав почвообразующих пород на о. Валаам, % на прокаленную навеску [26]

Порода	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
Габбро-диабаз (ГД)	52,82	17,09	15,23	сле- ды	5,55	3,45	1,35	2,78	0,57	2,06	не опр.
Элювий ГД	50,54	18,41	13,17	1,20	5,00	2,43	2,03	2,87	0,20	4,09	0,11
Морена супесчаная, обогащенная элювием ГД	71,01	5,42	11,28	0,57	2,81	1,47	2,07	2,19	0,05	1,50	0,01
Морена силикатная песчаная	78,89	2,92	10,52	0,15	1,79	1,09	1,75	1,75	0,03	0,61	0,01
Пески озерные	81,43	1,91	8,87	0,13	1,80	0,50	2,03	2,11	0,04	0,83	0,01
Суглинки озерные	71,77	6,02	12,22	0,37	2,56	1,78	1,95	1,87	0,10	1,17	0,02

Таблица 2

Гранулометрический состав почвообразующих пород [26]

Порода	> 1 см	< 1 см	Содержание фракций, % к мелкозему, при размере частиц, мм						
	% к почве		1– 0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	< 0,001	< 0,01
Элювий ГД	87,7	12,3	44,0	24,9	15,3	3,0	3,6	3,3	10,9
Песок моренный завалуненный	64,3	35,7	79,8	8,9	8,3	0,4	1,4	1,3	3,1
Песок озерный	0,8	99,2	46,3	53,1	0,4	0,13	0,14	0,03	0,3
Супесь пылеватая валунная	30,2	69,8	32,3	36,2	15,0	4,5	7,5	4,5	16,5
Озерные суглинки	0	100	0,1	0	21,4	31,0	37,3	11,2	79,5

1) элювий и элюво-делювий габбро-диабазов, они содержат много кальция, магния, калия, железа и микроэлементов;

2) моренные и озерно-ледниковые отложения с включением элювия диабазов, менее богатые элементами, приведенными выше;

3) озерные и моренные отложения без элювия диабазов имеют силикатный состав, характерный для морены Карелии.

*Климатические особенности.* Территория района относится к Атлантико-Арктической зоне умеренного климата с преобладанием теплых воздушных потоков с Северной Атлантики и холодных – из Атлантического сектора Арктики. Отроги Западно-Карельской возвышенности защищают Валаам от холодных северных ветров. С юга территория островов открыта воздействию теплых воздушных масс, приходящих с Ладожского озера. Его влияние на климатические особенности островов значительно: оно сглаживает суточные и сезонные амплитуды температуры воздуха, смягчает заморозки и уменьшает их вероятность, способствует образованию густых туманов и сильных ветров. Остров Валаам – самый теплый район Карелии (табл. 3). Сюда на неделю позже приходит осеннее похолодание, и заморозки наступают позже, чем в других районах республики. Зима мягкая, с неустойчивой температурой воздуха и частыми оттепелями. Среднегодовая температура воздуха +3,6 °С. Безморозный период длится 144 дня. Снежный покров держится в среднем 175 дней в году, высота его достигает 35–55 см на открытых местах и 50–70 см в лесу [1, 33].

На Валааме отмечается самая высокая относительная влажность воздуха (82%) в Карелии. Максимальное количество дней

с влажностью выше 80% – 194, тогда как на побережье Ладожского озера в районе г. Сортавалы – 114. Влажность воздуха в течение года и суток весьма изменчива и зависит от общего хода температур, от наличия водоемов (только на о. Валаам 10 озер), облачности, выпадения осадков и вхождения на территорию региона различных по составу и свойствам воздушных масс. На фоне высокой относительной влажности воздуха воздействие атмосферных загрязняющих компонентов на биологические объекты, особенно на растения, будет более выражено, и повреждения будут более сильные по сравнению с сухим воздухом [4].

*Таблица 3*

Основные климатические показатели района (по средним многолетним наблюдениям) [1, 33]

Показатель	Метеостанция	
	Валаам	Сортавала
Средняя температура воздуха, °С	3,6	3,0
февраля, °С	–8,6	–9,4
июля, °С	16,7	16,9
Число дней с температурой воздуха, равной и выше		
0 °С	219	212
5 °С	163	160
10 °С	112	110
15 °С	50	50
Сумма температур воздуха: выше 5 °С	1995	1959
выше 10 °С	1610	1571
Средний срок наступления: последнего мороза весной	22.05	19.05
первого мороза осенью	14.10	24.09
Безморозный период (в днях)	144	127
Число дней со снежным покровом	154	150
Среднее количество атмосферных осадков (мм):		
за теплый период	348	386
за холодный период	225	219
Всего за год	573	605

В розе ветров нет существенного преобладания ветра одного направления (рис. 1). Чаще других отмечены ветры южных и северных румбов, при этом скорость южных ветров выше (6,7 м/с), чем северных (4 м/с) [1]. С переносом воздушных масс одновременно связан и перенос загрязняющих веществ на расстояния, далеко отстоящие от места их происхождения.



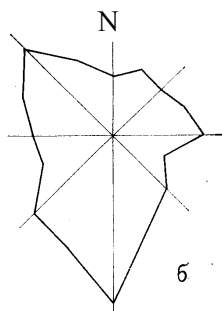
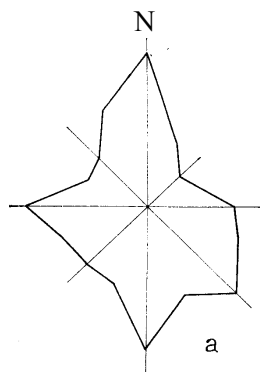


Рис. 1. Роза ветров  
а – Валаам, б – Сортавала

В условиях Карелии и обследованного района, в частности, атмосферным осадкам принадлежит основная роль выведения загрязнителей из атмосферного воздуха. На территории островов за год выпадает в среднем 573 мм осадков, что близко к среднему по республике, из них 70% – в виде дождей. Самый сухой месяц – март (22 мм), самый дождливый – август (58 мм) [1]. В летние месяцы часты ливни (до 30–50 мм/час), что в условиях сильно расчлененного рельефа создает повышенную эрозионную опасность и способствует смыву тонких частиц с повышенных элементов рельефа и постепенному накоплению органических и минеральных веществ у подножий склонов.

На химический состав атмосферных осадков оказывают влияние органические и минеральные соединения, поступающие с пылью, а также разнообразные летучие органические вещества, выделяемые лесными массивами. На солевой состав осадков свое воздействие оказывает и влага, испаряемая с обширной поверхности Ладожского озера и с многочисленных внутренних водоемов о. Валаам.

Полог леса не является нейтральным фильтром на пути водной миграции вещества в системе атмосфера – высшее растение – почва. В лесной экосистеме разная древесная растительность оказывает неодинаковое воздействие на формирование кислотности осадков и содержание макро- и микрокомпонентов [39, 40, 41, 42, 43]. Для всех элементов существуют как фациальные различия в их поступлении на подстилающую поверхность, так и внутрифациальные – под разными деревьями и в пределах их подкронового

пространства, что является следствием биохимических особенностей дерева и собственно ландшафтно-геохимических условий их произрастания.

*Растительный покров* архипелага определяется его географическим положением, находящимся на границе южной и средней тайги. На территории Валаама насчитывается 156 видов высших растений, т. е. почти половина произрастающих в Карелии [3, 34]. Большая часть островов покрыта лесами: на долю сосновых лесов приходится 60% лесопокрытой площади, еловые леса занимают 34%, березовые – 5% [18]. На небольших участках встречаются осинники, а также посадки интродуцентов – лиственницы, дуба, пихты и др. Леса Валаама характеризуются довольно высокой продуктивностью, средний класс бонитета сосняков (III.8) и ельников (III.3) выше, чем в среднем по южной Карелии [17]. Влияние человека на лесные экосистемы вплоть до середины 30-х гг. было незначительным, поэтому здесь преобладают насаждения высоких классов возраста.

На территории островов архипелага встречается более 120 видов охраняемых растений. На плодородных почвах формируются специфические луговые ценозы, они занимают небольшую площадь и характеризуются богатым видовым составом трав. В зависимости от положения в рельефе луговые ценозы имеют свою флору. В низинах господствуют гидрофильные травы: осока, щучка дернистая, овсяница луговая, лютики и др. Пологие склоны заняты злаково-разнотравными лугами, в их травостое преобладают полевица обыкновенная, овсяница красная, душистый колосок; из разнотравья – звездчатка злаковидная, зверобой, колокольчики, несколько видов клевера. Для растительности верховых болот характерны багульник, подбел, клюква, пушица и др. Растительность переходных болот имеет более разнообразный видовой состав, встречается много болотного разнотравья: вахта трехлистная, звездчатка болотная, мытник, сабельник и другие. Луга прибрежной зоны занимают тростник обыкновенный, камыш озерный, манники и другие водолюбивые растения.

*Почвенный покров* исследуемой территории характеризуется чрезвычайной пестротой и мелкоконтурностью, вследствие частой смены форм рельефа и изменчивости состава почвообразующих

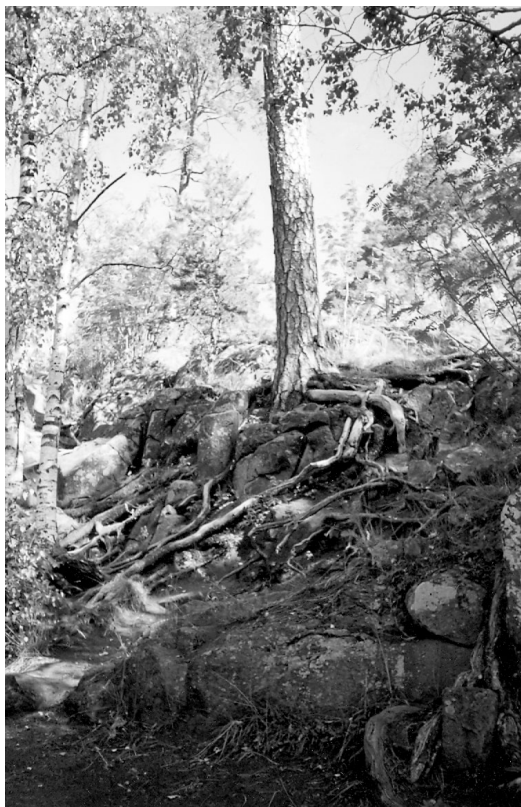
пород [26]. Пестрота почвенного покрова обуславливается, кроме того, и различными видами или процессами его нарушения в результате антропогенной деятельности, имеющими нередкое распространение на относительно небольшой территории о. Валаам.

На островах выделены примитивные почвы, подбуры, буроземы, подзолистые, болотно-подзолистые, дерново-глеевые, болотные и антропогенные почвы.

Ведущую роль в строении почвенного покрова играют сложные (3–4-компонентные) комбинации почв (рис. 2). Почвенный покров скалистых побережий и малых островов представлен комбинацией примитивных почв и подбуров. На низких скалистых побережьях с выраженными депрессиями формируется комплекс примитивных и болотных низинных обедненных почв. На длинных пологих склонах и плоских вершинах гряд распространены буроземы в сочетании с подбурами; на нижних частях склонов развиваются буроземы оподзоленные и глеевые, а также подзолистые глеевые почвы. Более низкие места заняты буроземами глеевыми в сочетании с болотными низинными почвами. Почвенный покров пониженных участков, распространенных вокруг внутренних озер, представлен сочетаниями болотно-подзолистых и болотных почв.

Элементарные почвенные ареалы наиболее часто представлены примитивными щебнистыми почвами и подбурами. Примитивные почвы занимают 23% площади (здесь и далее доля участия почв в покрове вычислена в процентах ко всей площади архипелага). Однородные контуры примитивных почв обычно приурочены к обрывистым побережьям. Чаще всего примитивные почвы являются фоновым компонентом в мозаиках с подзолистыми и болотными почвами, с подбурами, занимающими почти все высокие прибрежные дренированные положения. На низких отметках в условиях повышенного увлажнения на поверхности примитивных почв формируется торфянистый горизонт.

Подбуры и буроземы занимают 47% площади. Они представлены как однородными, так и сложными контурами. Наиболее часто встречаются однородные контуры подбуров, приуроченные к плоским вершинам гряд, перекрытых маломощным слоем элювия. Буроземы развитые на морене, однородные контуры образуют редко,



*Рис. 3. И на скалах растут деревья*

они выделены на некоторых пологих склонах. На нижних частях склонов гряд, покрытых моренными отложениями, встречаются буроземы оподзоленные. Более глубокие депрессии и подножия крутых склонов, спускающихся в широкие понижения, занимают буроземы глеевые.

Подзолистые почвы образуют отдельные вкрапления на буроземно-гидроморфном фоне почвенного покрова островов. Общая площадь их невелика – 5% территории. На равнинах подзолистые почвы отсутствуют и обычно приурочены к широким ложинам и низким побережьям. Из почв под-

золистого типа наиболее распространены слабоподзолистые и грунтово-глеевые разновидности.

Дерново-подзолистые почвы занимают небольшие площади и формируются под травяной растительностью, в основном, в центральной части острова Валаам.

Болотно-подзолистые почвы распространены небольшими массивами (9% площади) среди подзолистых почв. В узких ложинах развиваются перегнойно-подзолисто-глеевые почвы в сочетании с болотными низинными, размеры их площадей зависят от строения болот. Наиболее распространены они в центральной и восточной частях острова.

Широкий спектр типов почв, представленных на относительно небольшой территории Валаамского архипелага, свидетельствует о большом разнообразии условий и процессов аккумуляции и миграции химических элементов в профиле. Формирование почв на легко фильтрующихся песчано-супесчаных щебнистых породах в условиях умеренно холодного гумидного климата и сильно расчлененного и скалистого рельефа способствует интенсивной миграции растворимых форм химических элементов по почвенному профилю и одновременно переносу их соединений по трещинам и ходам корней (рис. 3) с поверхностным и боковым стоком.



## ГЛАВА 2

### **СОВРЕМЕННОЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ОСВОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ И ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ**

На островах Валаамского архипелага отсутствуют промышленные предприятия и опасные в экологическом плане производства (рис. 4). Согласно «Положению об уникальной исторической и природно-ландшафтной территории „Валаам“ на островах Валаамского архипелага», его территория разделена на зоны с разным режимом природопользования – заповедную, регулируемого использования, традиционных форм хозяйственной деятельности, хозяйственную (складская, хозяйственно-туристического освоения), охраны историко-культурных и природных памятников, монашеского образа жизни [38].

Основные антропогенные факторы воздействия на природу архипелага связаны с рекреационной, лесохозяйственной, сельскохозяйственной и коммунальной деятельностью. К ним относятся: выпас скота, осушение, урбанизация, водный транспорт, туризм, отопление. Отсюда возникающие экологические проблемы: загрязнение атмосферы, вод суши, озера, почв, эрозия и дефляция почв, деградация пастбищ, отчуждение продуктивных земель, потеря рекреационных ресурсов, деградация лесных биогеоценозов вследствие ветровалов, нарушение режима особо охраняемых территорий.

Отметим, что кроме упомянутых ветровалов и дефляции, процессов смыва почв и погребения их элювием нарушение (загрязнение) почв и почвенного покрова происходило в результате военных действий в ходе советско-финляндских войн 1939–1940 и 1941–1944 гг. В настоящее время объекты форсификационного искусства составляют особую группу валаамских памятников. Это

форты и артиллерийские позиции в скалах, блиндажи и дзоты, казарменные постройки и стрелковые ячейки.

Наибольшую экологическую опасность в настоящее время, несомненно, представляет рекреационная деятельность. Она связана с экскурсионным туризмом и паломничеством, а также с рекреационными занятиями местного населения (сбор грибов, ягод, любительское рыболовство). В наибольшей степени почвы и растительность пострадали в западной, наиболее посещаемой части острова Валаам, где располагается поселок и большинство историко-архитектурных памятников – усадьба монастыря, районы Игуменского кладбища, Никольского скита и др.

Интенсивное использование острова в экскурсионных целях, формирование излишне большого числа групп, нередко превышающих по количеству приемлемую норму, приводило к экологически опасному «напряжению» на туристических маршрутах: возникновению встречных потоков экскурсионных групп, их движению по примыкающим к маршрутам лесным насаждениям и остановке вне границ смотровых площадок [32]. Так, например, в северо-западной части острова наиболее активно эксплуатируется пятикилометровый участок дороги и прилегающие к нему леса. Так как дорога не приспособлена для интенсивного использования, имеет место ничем не оправданное ее разрушение и расширение, стихийное возникновение тропиночной сети. В ряде случаев на скалах и участках с маломощными почвами произошла их полная деградация. Одни участки дорог размыты, другие, из-за отсутствия стока поверхностных вод, переувлажнены и почти не проходимы.

Под влиянием высоких рекреационных нагрузок на почву происходит вытаптывание поверхности, ведущее к ее уплотнению, изменению физико-химических свойств и в конечном итоге – к ее деградации [32]. Это приводит к обнажению и усыханию корневых систем деревьев, которое хорошо выражено на тропах пешеходных маршрутов (рис. 3). Особенно страдает подстилка. Уплотнение и иссушение подстилок на вытоптаных участках вызывают разрывы и гибель корней растений. Минеральные горизонты почв, лежащие под подстилкой, также уплотняются, нарушается их структура, что приводит к ухудшению фильтрационных свойств и в результате – к увеличению поверхностного стока осадков и

развитию эрозионных процессов. Особенно подвержены эрозии почвы сухих типов леса – примитивные, подбуры и буроземы, залегающие на маломощном мелкоземистом элюво-делювии габбро-диабазов, широко представленные на Валааме.

Не столь значительно влияние сельскохозяйственной деятельности на природу острова Валаам, где имеется 160 га сельскохозяйственных земель, из которых 90% – это естественные и сеяные луга; есть небольшая животноводческая ферма. Неконтролируемый выпас скота нередко приводит к ухудшению напочвенного покрова (появление троп) и деградации почв в окрестностях фермы.

Заметную опасность для природы острова представляют несанкционированные свалки коммунально-бытовых отходов и хозяйственно-бытовые стоки, которые сбрасываются в Монастырскую бухту и другие водоемы, загрязняя их.

Итак, на самом о. Валаам имеются источники, способные вызвать только локальные загрязнения почв, и отсутствуют крупные объекты с газопылевыми выбросами, вызывающими площадное (масштабное) загрязнение. Основными местными источниками атмосферного загрязнения природной среды Валаама являются отопительная система и водный транспорт. При этом следует заметить, что в настоящее время для экскурсионного обслуживания туристов, прибывающих в большом количестве на о. Валаам, широко используется автотранспорт, который является одним из мощных источников загрязнения окружающей среды. Однако в более ранние годы, в том числе в период проведения данного почвенно-геохимического обследования, автотранспорт на острове почти не использовался. Поэтому автотранспортное загрязнение не вошло в число перечисленных выше источников антропогенного воздействия на природные комплексы Валаама и, можно считать, не повлияло на фоновые показатели современного состояния почв, устанавливаемые в процессе данного исследования.

В связи с особенностями атмосферной циркуляции в высоких и средних широтах северного полушария [5], приводящими к поступлению в отдельные районы загрязняющих веществ не только от местных источников, но и от удаленных на многие десятки и сотни километров, не исключается влияние глобального и регионального

переноса поллютантов на островную экосистему. Тем более что Валаамские острова на Ладожском озере располагаются на юго-западе Карелии, которая является индустриально развитой республикой Российской Федерации. К тому же среди их ближайших соседей в пределах Российской Федерации – Ленинградская промышленно насыщенная область.

На территории Карелии представлены различные отрасли промышленности, выбросы от которых влияют на состояние воздушного бассейна. Это в основном предприятия горнодобывающие и целлюлозно-бумажные (ЦБП), машиностроительной и металлургической промышленности, теплоэнергетики, производство строительных материалов.

Предприятия, оказывающие влияние на загрязнение атмосферы, по территории республики распределены неравномерно. Деревообрабатывающие предприятия сосредоточены в южной и частично в центральной частях Карелии, в городах Кондопога, Сегежа, Питкяранта и Суоярви. Металлургические предприятия расположены в центральной части – городах Костомукша и Надвоицы. Машиностроительный комплекс сосредоточен главным образом в г. Петрозаводске.

Более половины выбросов вредных веществ приходится на долю сернистого ангидрида, преобладающего по объемам в промузлах Костомукша, Петрозаводск, Кондопога [12]. Предприятия лесного комплекса являются основным поставщиком сероводорода. В качестве топлива на ТЭЦ и ТЭС применяется высокосернистый мазут, на многочисленных котельных и в кочегарках – уголь, нередко дрова, иногда мазут. Газообразные выбросы на ТЭЦ (90%) содержат серы – 60%, ванадия – 30%, никель, железо, алюминий, хром, марганец, свинец и т. д. Используемый в многочисленных тепловых установках каменный уголь содержит более 25 химических элементов, поступающих при его сжигании в атмосферу: ртуть, никель, свинец, ванадий, мышьяк, титан и др., большое количество токсических органических соединений и естественные радиоактивные элементы [44].

Значения выбросов серы по республике и четырем городам, находящимся на карельской части побережья Ладожского озера, приведены в табл. 4, где также указаны отрасли промышленности,

вносящие вклад в выбросы этих городов. Эти данные свидетельствуют о том, что воздействие выпадений закисляющих веществ на природные комплексы Валаама обусловлено развитием в этой части Карелии деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности.

*Таблица 4*

Выбросы соединений серы от основных отраслей промышленности экорегиона Ладожского озера и республики в целом в 1996 г. [23]

Город	SO <sub>2</sub> тыс. т	Основная отрасль промышленности города и ее вклад, %
Лахденпохья	1,2	Непроизводственные, 79
Сортавала	2,1	Металлургия, 15. Непроизводственные, 64
Питкяранта	3,3	Деревообработка и ЦБП, 88
Олонец	1,0	Непроизводственные, 51
Республика Карелия	110,8	Электроэнергетика, 11. Деревообработка и ЦБП, 25. Metallургия, 44

Вместе с тем, следует обратить внимание на значительное участие в загрязнении воздушной среды республики трансграничного переноса поллютантов. Так, по оценке научно-исследовательского института охраны атмосферного воздуха (г. С.-Петербург), выполненной путем математического моделирования атмосферных потоков закисляющих веществ, доля внешнего воздействия на Карелию по сере в среднем за пятилетие (1992–1996) составляла 68% по сравнению с собственными источниками [23]. Естественно, в пределах Карелии это соотношение сильно меняется.



## ГЛАВА 3

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования являлись почвы Валаамского архипелага. Учитывая, что аэротехногенные поллютанты, как правило, концентрируются в поверхностном слое почвы, проведено изучение загрязнения верхних генетических горизонтов. Данные по кислотности, концентрации серы и тяжелых металлов в этих горизонтах дают представление об источниках, ареалах и степени загрязненности почв, позволяют выявить приоритетные вещества-загрязнители. По анализу минеральных горизонтов можно также судить об изменении химического состава почвообразующих пород в процессе гипергенеза и почвообразования.

**Отбор проб.** Точки отбора проб располагались на всей территории о. Валаам и ряде островов архипелага. Схема отбора проб была составлена с учетом разнообразия почв и предполагаемых источников загрязнения (рис. 5). При составлении экспедиционных маршрутов использовали почвенную карту Валаамского архипелага масштаба 1 : 20 000 (рис. 2). В полевых условиях места отбора проб отмечали на топографической карте этого же масштаба, проводили описание рельефа, растительности, почвы и характера землепользования, глубины залегания грунтовых вод. При этом названия почв давали согласно классификации [14, 25, 31]. Пробы для химических анализов отбирали из верхних генетических горизонтов: подстилки и нижележащего минерального горизонта [10, 24]. Всего было отобрано 125 образцов из 70 пробных площадок. Кроме того, для получения сведений о содержании микроэлементов и серы в породах был специально исследован состав почвообразующих пород на о. Валаам.

**Химические анализы.** В лабораторных условиях определяли  $pH_{\text{сол}}$  и  $pH_{\text{вод}}$  потенциометрическим методом. Перед химическим

анализом пробы лесных подстилок высушивали при температуре +90 °С до постоянного веса, минеральных горизонтов – при температуре +105 °С. После высушивания образцы пропускали через сито с диаметром ячейки 2 мм, затем проводили гомогенизацию. В образцах подстилок проводили определение Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb – атомно-абсорбционным методом после автоклавной обработки смесью концентрированных азотной и соляной кислот, а также серы – спектрофотометрическим методом. Минеральные образцы почв подвергались сухому озолению с последующим спектральным определением содержания тяжелых металлов.

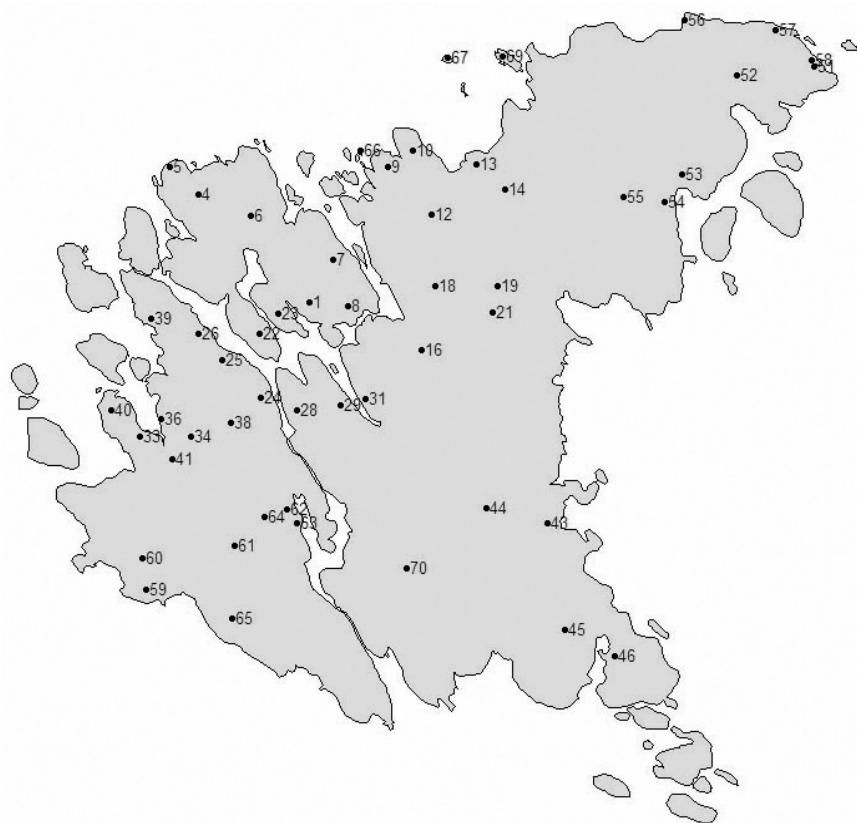


Рис. 5. Схема размещения точек отбора проб

**Составление карт.** На основе достоверных аналитических материалов, полученных на современном аналитическом оборудовании, составлены 24 компьютерные карты, отражающие пространственное распределение кислотности почв ( $\text{pH}_{\text{вод}}$  и  $\text{pH}_{\text{сол}}$ ), концентрации серы и микроэлементов на территории Валаамского архипелага. Карты сформированы с использованием модуля Spatial Analyst пакета Arc View. Значения концентрации элементов в узлах регулярной решетки были рассчитаны из фактических значений в точках измерений методом IDW, и затем созданы границы интервалов концентрации по каждому элементу.

Цветные шкалы дают графическое представление об изменчивости концентрации элементов в поверхностном слое почв на обследованной территории. Аналогичным образом составленные карты содержания серы и тяжелых металлов в лесных подстилках Валаамского архипелага (1 пр. пл. на 0,5 кв. км) и Карелии в целом (1 пр. пл. на 1 000 кв. км) [37], хотя и разного масштаба, но вполне сопоставимы и позволяют провести сравнительный анализ.

В соответствии с имеющимися данными было условно выделено 5 градаций по содержанию химического элемента в почве: уровень очень низкий, низкий, средний, повышенный, высокий. Эти градации были использованы при интерпретации схематических макро- и микроэлементных карт.

**Оценка загрязненности почв и фоновое содержание элементов.** Оценку уровня содержания и загрязнения почв тяжелыми металлами и серой проводили, используя ряд показателей: 1. Кларк – формализованный универсальный показатель распространения химических элементов в почве [7]; 2. Предельно допустимую концентрацию загрязняющего почву химического элемента (ПДК) [10, 46] и ориентировочно допустимые концентрации химического соединения в почве (ОДК) [29]; 3. Шкалу экологического нормирования тяжелых металлов (по валовому содержанию) для геохимической ассоциации почв со слабокислой и кислой реакцией (табл. 5); 4. Средние показатели содержания элементов в лесных подстилках Карелии, принимаемые за региональный фон [37], что представляется наиболее корректным, так как период отбора образцов на Валаамских островах совпал с почвенным обследованием всей территории республики; 5. За фоновые показатели

(местный фон) были приняты средние содержания элементов в почве, полученные именно для островной экосистемы Валаама.

*Таблица 5*

Шкала экологического нормирования тяжелых металлов для геохимической ассоциации почв со слабокислой и кислой реакцией, мг/кг возд.-сух. почвы (по: Обухов, Ефремова) [28]

Градации	Cu	Pb	Ni	Zn	Cd
Уровень загрязнения:					
низкий (ПДК)	100–150	100–150	100–150	150–200	1–2
средний	150–250	150–500	150–300	200–500	2–5
высокий	250–500	500–1000	300–600	500–1000	5–10
очень высокий	> 500	> 1000	> 600	> 1000	> 10

Все массивы аналитических данных были обработаны статистически с использованием стандартного пакета программ Statistics. Для оценки изменчивости показателей почв рассчитаны коэффициенты варьирования значений. На основе корреляционного анализа оценивали тесноту связи между концентрациями отдельных элементов, а также с величиной pH, выявляли ассоциации элементов и возможные пути их переноса.

## ГЛАВА 4

### КРАТКАЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Краткая геохимическая характеристика исследуемых элементов составлена на основании ряда работ [6, 7, 8, 13, 16, 27, 30] и приводится в табл. 6.

Таблица 6

Геохимическая характеристика исследуемых химических элементов

Атомный номер	Элемент	Символ	Атомная масса	Степень окисления	Среднее содержание, % [7, 8]	
					Литосфера	Почва
16	Сера	S	32,06	II, IV, VI	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$
24	Хром	Cr	52,0	II, III, VI	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$
25	Марганец	Mn	54,94	II, III, IV, VI, VII	$1 \cdot 10^{-1}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$
26	Железо	Fe	55,85	II, III, IV, VI	4,65	3,8
27	Кобальт	Co	58,71	II, III	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
28	Никель	Ni	58,93	II	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$
29	Медь	Cu	63,55	I, II	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
30	Цинк	Zn	65,37	II	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
48	Кадмий	Cd	112,40	II	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
82	Свинец	Pb	207,19	IV, II	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$

**Сера (S)** занимает 15 место среди элементов по содержанию в земной коре, она встречается в природе в свободном состоянии (самородная сера) и в виде минералов сульфидных (пирит  $\text{FeS}_2$ , халькопирит  $\text{FeCuS}_2$ , галенит  $\text{PbS}$ , цинковая обманка  $\text{ZnS}$ ) и сульфатных, в основном сульфатов кальция (гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ангидрит  $\text{CaSO}_4$ ) и бария (барит  $\text{BaSO}_4$ ).

Сера отличается переменной степенью окисления, причем наиболее характерны IV и VI. Основное значение имеет сульфат-ион ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Причем сульфаты щелочных металлов, магния, железа, цинка, меди, никеля, кобальта, кадмия хорошо растворимы, а сульфаты свинца – труднорастворимы. Эти закономерности имеют большое геохимическое значение.

В окружающую среду сера поступает с вулканическими газами, в составе минеральных источников, при окислении сероводорода в результате жизнедеятельности бактерий – десульфуризаторов, а в почвы – главным образом из разрушающихся горных пород и руд. Естественным источником серы в почве являются пириты, содержащие серу в восстановленной форме.

Поступление техногенной серы в окружающую среду происходит как в виде сернистого газа, так и в окисленной до серной кислоты форме. Отмечается [11], что с пылевой фракцией серы может выпадать в десятки раз больше, чем с кислыми дождями. Закисление почвы является одним из основных аспектов проблемы воздействия на состояние природных биоценозов кислотных осадков.

Соединения серы относятся к наиболее опасным загрязнителям атмосферы. Если учесть, что продолжительность жизни в атмосфере соединений серы колеблется от нескольких часов до 20 суток [4], а скорость ветра в километровом слое в среднем составляет 20 км/час, то эти вещества могут переноситься на расстояния более тысячи км от источников их выбросов.

Сера может служить индикатором антропогенного воздействия на природную среду, а также косвенным показателем эмиссий тяжелых металлов, являясь их спутником. Большое количество серы в виде  $\text{SO}_2$  поступает в атмосферу при сжигании различных видов топлива, работе целлюлозно-бумажных и горнообогачительных предприятий. Она широко используется для производства серной кислоты, в резиновой промышленности при вулканизации каучука, в химической промышленности для получения сероуглерода и некоторых красителей, а также минеральных удобрений и др.

Роль серы в жизни растений неоднозначна. Она служит важным элементом питания, активно вовлекаемым в биологический круговорот и накапливающимся в растениях и почвах. С другой стороны,

техногенная сера – агрессивный поллютант, оказывающий негативное действие на растительность и почвенную биоту. В присутствии сульфатов, как правило, усиливается потеря питательных элементов и возрастает миграция тяжелых металлов.

**Хром (Cr)** – широко распространенный элемент, занимает 22 место по содержанию в земной коре. Имеет разную степень окисления (II–VI) и отличается способностью формировать комплексные ионы, например,  $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ . Часто встречается в виде хромитов ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ), магнохромитов ( $\text{Mg, Fe}\text{Cr}_2\text{O}_4$ ), алюмохромитов  $\text{Fe (Cr, Al)}_2\text{O}_4$ . Большая часть хрома в почвах присутствует в виде Cr (III), который в очень кислой среде инертен, а при pH 5,5 почти полностью выпадает в осадок, поэтому его соединения в почвах считаются весьма стабильными. Легкость, с которой растворимый Cr (VI) при нормальных почвенных условиях переходит в нерастворимый Cr (III) (под влиянием восстановителей), является главным свойством этого элемента, именно с ней связана относительная доступность хрома для растений. Поведение хрома в почвах зависит от величины pH, а уровень содержания – от количества его в материнских породах.

Главным источником хрома являются некоторые промышленные отходы (гальванические осадки, отходы кожевенных заводов и производств, где хром используется в составе пигментов и красителей) и осадки сточных вод. Большое количество его поступает в атмосферу при сжигании угля. Он является компонентом нержавеющих сталей, применяется для нанесения декоративных и коррозионностойких покрытий. Высокие концентрации легкорастворимого хрома (VI) токсичны, поэтому важное значение имеют проблемы окружающей среды в районах добычи и переработки хромосодержащих руд.

Хром является важным элементом питания, поскольку жизненно необходим для животных и человека. Снижение подвижности хрома в почвах может приводить к его дефициту в растениях, что отражается на их физиологических функциях.

**Марганец (Mn)** – широко распространенный в земной коре элемент, занимает 11 место по встречаемости. В рудах содержится в основном в виде оксидов. Его значительные запасы сосредоточены в железомарганцевых конкрециях. В массивных горных породах

находится в виде  $Mn(II)$ . Катион  $Mn^{2+}$  обладает способностью замещать двухвалентные катионы некоторых элементов ( $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) в силикатах и оксидах. Кристаллическая структура оксидов и гидроксидов марганца имеет важное геохимическое значение. По мнению исследователей А. Кабаты-Пендиас и Х. Пендиас [16], она определяет высокую степень ассоциации с марганцевыми конкрециями некоторых тяжелых металлов, в частности, Co, Ni, Cu, Zn.

Формы марганца (II) хорошо растворимы и легкоподвижны по сравнению с оксидами более высокой валентности. Растворимые формы марганца легко извлекаются из почв растениями. Для его концентрации в растениях характерна отрицательная корреляция с величиной pH почв и положительная с содержанием органического вещества. Марганец не считается загрязняющим почвы металлом. В то же время при продолжительном использовании сточных вод в качестве удобрений накопление его в верхних слоях почв может оказывать токсическое воздействие на некоторые виды растений, особенно на кислых почвах (pH ниже 5,5).

Антропогенными источниками загрязнения окружающей среды марганцем являются металлургия, фармацевтическая промышленность, производство минеральных удобрений и др. Он входит в состав различных сплавов и является активным катализатором в органическом синтезе.

Марганец необходим для живых организмов, так как участвует в окислительно-восстановительных процессах, фотосинтезе, дыхании, углеводном и белковом обмене, входит в состав ферментных систем. Животные и растительные организмы страдают как от недостатка марганца, так и от его избытка.

**Железо (Fe)** занимает второе после алюминия место среди металлов и четвертое среди элементов земной коры, образует свыше 300 собственных минералов – оксидов, сульфидов, силикатов, карбонатов, фосфатов и др. Наиболее богаты им железные руды.

Вследствие относительно высокого содержания в земной коре и первостепенной роли в живых организмах железо не считается микроэлементом горных пород и почв, и по своей значимости для растений занимает промежуточное положение между макро- и микроэлементами питания. В почвах железо присутствует в виде оксидов и гидроксидов, наиболее часто встречающейся формой



считается гетит ( $\text{Fe}[\text{OH}]\text{O}$ ). Как правило, щелочные условия среды способствуют осаждению железа, а кислые – растворению его соединений. Количество его в почвах определяется как составом материнских пород, так и характером почвенных процессов. Содержание железа в отдельных группах материнских пород резко колеблется: в глинистых породах – в пределах 5,5–8,5%; в песках – около 1% и в известняках – только 0,5%. Даже для растений, произрастающих на бедных железом почвах, не отмечается его дефицита, фиксируется лишь недостаток его легкорастворимых форм. В почве же, обогащенной растворимыми формами железа, чрезмерное поглощение его растениями может привести к токсическому воздействию.

Эмиссии железа в атмосферу связаны с металлургической, химической промышленностью и сжиганием угля. Этот металл используется в основном в виде сплавов и применяется как конструкционный материал в строительстве, при производстве труб для газо- и нефтепроводов, деталей машин и механизмов и т. п.

**Кобальт (Co)**, его содержание в земной коре 18 мг/кг. Собственные пороодообразующие минералы отсутствуют, он входит в состав минералов мышьяка, серы и селена, а наиболее часто – минералов железа. Кобальт, освободившийся при выветривании первичных минералов, находится в почве в виде его солей в двух- и трехвалентной форме. Двухвалентный кобальт легко мигрирует в растворенной фазе в виде хлоридов, сульфатов и бикарбонатов. Наибольшую растворимость из перечисленных солей имеет  $\text{CoSO}_4$ . В почвах Co (II) в присутствии комплексообразователей быстро окисляется до Co (III) и прочно связывается органическим веществом. С увеличением pH среды подвижность его соединений уменьшается, тогда как в кислых почвах (болотных и торфянистых) он высокоподвижен и может легко вымываться из почвенной толщи.

В геохимических циклах кобальт тесно связан с железом и марганцем. Естественное содержание его в почвах унаследовано от материнских пород. Почвы, образовавшиеся на основных породах и на глинистых отложениях, содержат наибольшие его количества. В природных условиях высокие концентрации обычно наблюдаются в почвах, развитых на серпентинитах (магниевый силикат) и над рудными телами.

Существенные источники загрязнения природной среды этим элементом связаны в основном с выплавкой цветных металлов, сжигание угля и других видов топлива имеет меньшее значение.

Кобальт является необходимым элементом для жизнедеятельности животных и растений, он входит в состав важнейшего витамина В<sub>12</sub>, однако при высоких концентрациях становится токсичным.

**Никель (Ni)** по частоте встречаемости в земной коре занимает 25 место. Высоким содержанием его характеризуются серпентиниты. Из-за высокого сродства с серой этот элемент часто ассоциируется с сернистыми минералами, а также с карбонатами, фосфатами и силикатами. В почвах он легко адсорбируется глинами и образует растворимые комплексы с органическими соединениями. Его растворимость в почвах находится в зависимости от величины pH, она наиболее высокая в интервале pH 5–7,5, очень слабая при pH 4,0 и 8,5. Содержание никеля в почвах во многом определяется наличием их в материнских породах, а также зависит от почвообразующих процессов и техногенного загрязнения.

В настоящее время никель считается приоритетным поллютантом, поступающим в окружающую среду с выбросами металлообрабатывающих предприятий и в связи с растущими темпами сжигания угля и нефти. Применение осадка сточных вод и некоторых фосфорных удобрений также является причиной его накопления в почвах.

Никель необходим для животных, растений и микроорганизмов. Отдельные соединения его, такие как ацетат никеля, сульфид никеля оказывают канцерогенное или аллергическое воздействие на организмы. Поэтому весьма своевременным и актуальным является организация мониторинга содержания никеля в природных экосистемах.

**Медь (Cu)** встречается в природе в самородном состоянии в виде кристаллов октаэдрической или кубической формы, образует большое число минералов, из которых наиболее распространены простые и сложные сульфиды. Они довольно легко растворяются при выветривании и высвобождают ионы меди. Особенно это характерно для кислых условий. В поверхностных средах обычно преобладает медь со степенью окисления II. В почвах Cu (II)

проявляет большую склонность к химическому взаимодействию с минеральными и органическими компонентами. Катионы меди могут легко осаждаться анионами (сульфидами, карбонатами или гидроксидами), поэтому Cu – относительно малоподвижный элемент в почвах.

Естественное содержание этого элемента в почвах определяется материнской породой и почвообразовательными процессами. Загрязнение почв медью происходит при использовании медьсодержащих веществ: удобрений, сельскохозяйственных и коммунальных отходов, а также в результате поступления ее от промышленных источников. Локальные микроаномалии в почвах могут возникать в результате коррозии конструкционных материалов, содержащих сплавы меди, например, электрических проводов, труб и пр.

Медь – необходимый элемент для животных и растений, присутствует в составе ферментов, играет значительную роль в фотосинтезе и дыхании, в азотном и углеводном обмене. Для растений толерантный диапазон 4–20 мг/кг, за его пределами отмечается недостаток меди или ее токсическое действие.

**Цинк (Zn)** занимает 23 место среди элементов по количеству в земной коре. Высокий кларк Zn обуславливает сравнительно большое количество его природных соединений. Существует 72 цинковых минерала, в породах он присутствует, главным образом, в виде сульфида ZnS (сфалерит). В почвах основной и наиболее подвижной формой считается Zn (II). Главными факторами, контролирующими его подвижность в почвах, являются содержание глинистых минералов и различных оксидов, а также величина pH. Как правило, в кислой среде подвижность его соединений выше, чем в нейтральной. В области высоких значений pH на растворимость и доступность этого элемента оказывает влияние образование растворимых Zn-органических анионных комплексов.

Основные антропогенные источники поступления цинка в атмосферу – это цинкоплавильная промышленность, производство строительных материалов, энергетические установки, сжигание горючих веществ. Он является компонентом латуни и др. сплавов, используется в качестве антикоррозионного покрытия железных и стальных изделий. Этот металл находит широкое применение в

фармакологии, производстве красителей, удобрений, фунгицидов. Некоторые соединения цинка токсичны (цинковый купорос) или канцерогенны (хромат цинка).

Цинк необходим растениям и животным, является составной частью энзимов. Он токсичен лишь в очень высоких концентрациях. При остром цинковом отравлении отмечается гибель листьев и побегов растений, у животных поражаются органы дыхания, печень и почки, нарушается кожный покров.

**Кадмий (Cd)** занимает 64 место по встречаемости в земной коре. Его минералы в природе не образуют рудных скоплений, а встречаются лишь как спутники цинка в цинковых и полиметаллических рудах, в которых кадмий в основном замещает Zn (II) в сфалерите. Геохимия кадмия тесно связана с цинком, но в отличие от Zn он обладает большим сродством к сере и обнаруживает высокую подвижность в кислых средах.

Главным фактором, определяющим содержание кадмия в почвах, является состав материнских пород. Его соединения наиболее подвижны в кислых почвах в интервале pH 4,5–5,5, тогда как в щелочных он относительно неподвижен. В условиях гумидного климата его миграция вниз по профилю почв более вероятна, чем накопление в верхних горизонтах, поэтому обогащение их кадмием будет прежде всего свидетельствовать о его антропогенном происхождении.

Естественными источниками поступления кадмия в атмосферу являются природные процессы: извержение вулканов, дым лесных пожаров, космическая пыль и др. К антропогенным источникам поступления в окружающую среду относится производство цветных металлов, аккумуляторных батарей и пластиков, сжигание горючих веществ и мусора. В почву он может попадать при орошении ее сточными водами и как примесь с фосфорными удобрениями.

Следует отметить, что кадмий в любой форме считается токсичным для растений, а доза 30–40 мг может быть смертельной для человека [16].

**Свинец (Pb)**, его среднее содержание в земной коре составляет около 16 мг/кг. Важнейшей и почти единственной свинцовой рудой, из которой извлекают этот металл, является галенит (свинцовый блеск PbS). При выветривании сульфиды Pb медленно

окисляются. Свинец в окисленной форме может образовывать карбонаты, входить в состав глинистых минералов, взаимодействовать с оксидами Fe и Mn, а также иммобилизоваться органическим веществом.

Природное содержание Pb в почвах тесно связано с составом подстилающих пород. В почвах он ассоциируется главным образом с глинистыми минералами, оксидами Mn, гидроксидами Fe и Al и органическим веществом. Среди тяжелых металлов свинец наименее подвижен. В почвах, развивающихся в условиях гумидного климата, он преимущественно мигрирует в бикарбонатной форме  $Pb(HCO_3)_2$ , в составе органо-минеральных комплексов, а также с глинистыми частицами. Из почв Pb выносятся слабее, чем Cu и Zn.

Основными источниками загрязнения окружающей среды свинцом являются автотранспорт, продукты сгорания каменного угля, металлургическая промышленность. Значительное количество Pb в почву поступает со сточными водами, используемыми в качестве удобрений.

Свинец при попадании в пищеварительный тракт живых организмов вызывает острые отравления, токсичен для протоплазмы всех клеток организма, но в основном для мышц, кровеносной и нервной систем. Он негативно влияет на биологическую активность почв, вызывает нарушение метаболизма микроорганизмов, особенно процессов дыхания и клеточного деления. Уровень содержания Pb, при котором он становится токсичным для растений, колеблется в пределах 100–150 мг/кг [16].

## ГЛАВА 5

### **СОДЕРЖАНИЕ СЕРЫ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВАХ**

Накопление и распределение тяжелых металлов и серы в почве зависит от характера почвообразования, определяемого минералогическим и химическим составом почвообразующих пород, рельефа, обуславливающего направление геохимического стока, определяющих современное перемещение химических элементов в зоне гипергенеза.

На зольный состав лесных подстилок оказывают влияние как химический состав почв, так и загрязнение атмосферы, поступление поллютантов с опадом и отмирающими растениями. При этом отметим, что под загрязнением мы понимаем не просто привнос веществ в геосистему, а такое поступление, при котором нарушается естественный фон содержания веществ и соединений, а в итоге – нормальное функционирование экосистемы.

Валаамский архипелаг, как было отмечено, уникален по минералогическому составу коренных и почвообразующих пород, что нашло отражение на почвенном покрове и химическом составе почв. Ниже рассматриваются содержание и распределение исследуемых элементов в основных генетических типах и некоторых подтипах почв, сформировавшихся на различных почвообразующих породах.

**Примитивные почвы** (Epy-Rudy Podzols) формируются под редкостойными сосняками скальными на выходах кристаллических пород, приуроченных к вершинам гряд и высоким скалистым берегам. Почвенный профиль состоит из лесной подстилки (A0). Иногда под подстилкой имеется маломощный слой (1–3 см) щебнистого элювия. Химический состав элювия характерен для габбро-

диабазов, на которых формируются примитивные почвы (табл. 1). В нем содержится много железа, кальция, магния, титана. Мелкозем содержит много грубого гумуса (5–15%). Почвы сильноокислые, величина pH солевой суспензии колеблется от 3,2 до 4,7.

Содержание тяжелых металлов и серы в минеральной части профиля примитивных почв зависит от наличия их в почвообразующей породе, т. е. в элювии габбро-диабазов (табл. 7). Концентрации исследованных элементов в различных почвах Валаамского архипелага приведены в табл. 8, из которой следует обогащенность свинцом, железом, цинком и серой минерального горизонта примитивных почв. Однако количество трех последних, а также хрома существенно ниже, чем в элювии габбро-диабазов, так как в процессе разрушения элювия происходит частичный вынос химических элементов со склоновым стоком и потребление растениями. Эти почвы характеризуются значительными колебаниями концентрации исследуемых элементов в минеральном слое (табл. 9). Различия между минимальными и максимальными значениями их достигают 2–5 раз, причем наиболее изменчиво содержание серы, марганца, меди, свинца, хрома.

*Таблица 7*

Содержание некоторых макро- и микроэлементов в почвообразующих породах на о. Валаам, мг/кг

Порода	S	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Элювий габбро-диабазов (ГД)	1170	42,1	537	145000	8,1	4,1	4,1	205,1	1,00	17,8
Морена супесчаная, обогащенная элювием ГД	589	24,9	131	33000	5,6	4,5	4,6	47,6	0,43	9,1
Морена супесчаная	473	27,4	242	18900	5,9	11,2	7,8	43,8	0,42	9,1
Морена силикатная	661	21,1	154	15800	5,0	5,2	3,7	47,3	0,48	9,6
Суглинки озерные	560	25,8	173	17500	5,6	9,2	8,4	69,4	0,45	8,9

Лесные подстилки примитивных почв отличаются самым высоким на Валааме содержанием свинца (42,5 мг/кг). Также в них много накапливается железа (20500 мг/кг) и серы (1340), т. е. тех элементов, которыми обогащена коренная порода. Их накопление связано не только с биогенной аккумуляцией, но и с загрязнением лесных подстилок примесями минеральных частиц вследствие маломощности горизонта. Что касается серы, свинца и кадмия,

Таблица 8

Кислотность и концентрации тяжелых металлов и серы в различных почвах

Почва	Элементы, мг/кг										pH	
	S	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	H <sub>2</sub> O	KCl
Лесная подстилка												
Примитивные	1340	9,2	565	20500	2,6	5,8	11,8	157	0,85	42,5	5,1	4,1
Подбурсы	1390	9,9	676	13300	1,9	9,2	9,3	171	0,77	31,6	4,5	3,6
Буроземы	1320	9,6	787	8100	2,4	7,4	9,6	199	0,73	21,2	4,9	3,7
Буроземы грубогумусные	1410	9,7	1508	12300	2,2	7,7	15,3	301	0,93	29,8	5,1	4,3
Буроземы оподзоленные	1290	7,7	680	2340	1,9	7,4	12,6	131	0,56	26,5	4,6	3,9
Буроземы глеевые	1120	7,3	1255	3780	2,4	5,8	9,0	131	0,95	24	4,9	4,2
Подзолистые	1170	6,6	703	2260	2,3	4,9	18,5	139	0,66	20,4	4,8	3,6
Подзолисто-глебовые	1350	9,5	751	1180	1,9	9,3	8,3	177	0,50	13,2	4,9	4,3
Перегнойно-глебовые	9620	11,4	380	21600	3,3	5,6	15,5	54	0,38	11,0	4,9	4,0
Болотные низинные	2500	14,9	102	14000	3,2	12,0	33,7	65	0,50	17,0	4,7	3,8
Среднее для Валаама	1240	10,0	764	11900	2,6	7,7	14,0	170	0,74	26,2	4,9	4,1
Минеральный подпочвенный горизонт												
Примитивные	778	21,8	582	50500	6,2	4,0	11,1	158	0,82	30,8	4,1	3,6
Подбурсы	561	25,3	654	41700	6,5	4,0	15,8	147	0,85	31,7	4,4	3,5
Буроземы	718	24,7	476	46300	7,4	6,6	24,7	156	0,84	32,1	4,6	3,8
Буроземы грубогумусные	718	29,0	1119	51800	7,5	3,9	18,2	217	0,88	33,1	4,8	3,9
Буроземы оподзоленные	476	18,6	178	25700	3,9	3,9	19,8	59	0,59	17,8	4,2	3,3
Буроземы глеевые	1560	16,0	196	21100	3,2	5,8	14,0	89	0,85	28,2	4,4	3,5
Подзолистые	452	16,7	150	24400	4,5	3,3	7,5	50	0,49	14,6	4,1	3,5
Подзолисто-глебовые	377	14,6	53	1090	1,9	1,8	25,4	25	0,30	7,1	4,0	3,2
Перегнойно-глебовые	1650	6,9	66	14600	4,3	13,7	19,3	30	0,54	21,5	4,3	3,5
Болотные низинные	1730	8,1	46	4040	3,3	5,8	10,3	33	0,66	24,3	4,2	3,6
Среднее для Валаама	612	23,4	612	38000	6,4	4,9	14,8	129	0,76	25,2	4,1	3,6
ПДК [46]	–	100	1500 [10]	–	50	50	100	300	3	32 [9]	–	–



Таблица 9

Пределы колебаний концентраций тяжелых металлов и серы в лесных почвах Валаама

Почва, лес	Гори- зонт	Содер- жание	Элементы, мг/кг									
			S	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Примитивная, сосновый	A0	min	807	4,9	97	7600	1,0	3,6	6,5	85	0,44	32,8
		max	2010	18,5	613	35100	4,1	7,8	22,6	270	1,97	46,5
		mid	1340	9,2	565	20500	2,6	5,8	11,8	157	0,85	42,5
	AB	min	313	9,4	148	33500	3,2	3,3	3,2	88	0,68	18,2
		max	1440	29,2	760	68700	8,3	5,2	17,3	230	0,93	64,5
		mid	778	21,8	582	50500	6,2	4,0	11,1	158	0,82	30,8
Подбуры: сосновый	A0	min	1150	4,8	225	1810	0,9	4,9	6,8	86	0,57	15,5
		max	1910	20,0	1655	37800	2,9	17,2	11,1	261	1,01	60,1
		mid	1390	9,9	676	13300	1,9	9,2	9,3	171	0,77	31,6
	AB	min	339	15,5	96	13200	2,4	1,5	3,3	37	0,41	13,5
		max	946	35,0	1710	70700	10,3	6,6	26,7	300	1,17	57,2
		mid	561	25,3	654	41700	6,5	4,0	15,8	147	0,85	31,7
еловый	A0	min	980	5,4	955	870	1,8	3,7	5,7	226	0,63	19,1
		max	1670	16,7	1953	37000	3,2	15,1	41,5	382	1,19	64,5
		mid	1400	9,7	1508	12300	2,2	7,7	15,3	301	0,93	29,8
	AB	min	434	19,9	508	20100	5,1	3,1	4,0	145	0,59	21,8
		max	1030	38,3	1710	70400	10,3	5,5	36,1	439	1,08	64,5
		mid	718	29,0	1120	51800	7,5	3,9	18,2	217	0,88	33,1
Бурозем: сосновый	A0	mid	1320	9,6	787	8090	2,4	7,4	9,6	199	0,73	21,2
	A1	mid	718	24,7	476	46300	7,4	6,6	24,7	156	0,84	31,2
	A0	mid	1340	8,7	1025	7370	3,3	9,3	8,3	234	0,88	26,0
	A1	mid	450	22,9	387	40300	7,1	6,4	10,3	134	0,64	18,9

Окончание табл. 9

Почва, лес	Горизонт	Содержание	Элементы, мг/кг									
			S	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Бурозем оподзоленный, елово-березовый и елово-сосновый	A0	min	980	6,0	383	1360	1,7	4,7	6,7	88	0,39	8,6
		max	1700	11,9	1614	3170	2,4	16,1	31,6	233	0,89	43,0
		mid	1290	7,7	680	2340	1,9	7,4	12,6	131	0,56	26,5
	A1A2	min	373	14,2	64	17600	2,1	1,6	2,2	21	0,35	7,9
		max	980	28,9	333	46800	6,7	7,9	38,7	120	0,87	25,0
Бурозем глеевый, елово-березовый		mid	476	19,6	178	26700	3,9	3,9	19,8	59	0,59	17,8
	A0	mid	1120	7,3	1255	3770	2,4	5,8	9,0	131	0,96	24,0
	A1	mid	1560	16,0	196	21200	3,2	9,3	14,0	89	0,85	28,1
	A0	min	730	4,4	190	860	1,5	4,1	7,5	62	0,43	8,4
		max	1530	10,0	1714	4420	3,4	6,1	49,2	227	0,93	28,8
Подзолистая, сосновый и еловый		mid	1170	6,6	703	2260	2,3	4,9	18,5	139	0,66	20,4
	A1A2	min	313	9,7	62	7160	2,3	1,5	1,4	22	0,24	9,4
		max	582	27,8	467	72000	5,2	5,7	33,9	159	1,35	16,2
		mid	452	16,7	146	24400	4,5	3,3	7,5	50	0,49	14,6
	A0	mid	1350	9,5	750	1180	1,9	9,3	8,3	177	0,50	13,2
Подзолисто-глеевая	A1A2	mid	377	14,6	53	1090	1,9	1,8	25,4	25	0,30	7,1
	Ап	mid	962	11,4	380	21600	3,3	5,6	15,5	54	0,38	11,0
Перегнойно-глеевая	T	mid	1650	6,9	66	14600	4,3	13,7	19,3	30	0,54	21,5
	T0	mid	2490	14,9	102	14000	3,2	12,0	33,7	65	0,50	17,0
Болотная низинная	T	mid	1730	8,1	46	4044	3,3	5,8	10,3	33	0,66	24,3

то прибрежное расположение почв способствовало их накоплению в верхнем слое. При этом следует отметить, что среднее содержание свинца в лесных подстилках превышает ПДК в 1,3 раза, а максимальное – в минеральном горизонте примитивных почв в сосняках вересково-лишайниковых – 2 ПДК.

**Подбуры** (Leptosols) формируются на маломощном щебнистом элювии и элюво-делювии габбро-диабазов, на вершинах и склонах гряд под сосняками лишайниковыми и сосново-еловыми бруснично-зеленомощными лесами. Профиль почв укорочен (15–30 см) и состоит из лесной подстилки (A0), гумусово-аккумулятивно-метаморфического горизонта (A1Bfm) и почвообразующей породы (C). Данные почвы сильнокислые, pH солевой суспензии колеблется от 3,5 до 5,0. При этом наименьшая кислотность отмечена в лесной подстилке. Верхняя минеральная часть почвенного профиля пропитана потечным гумусом, количество которого постепенно снижается с глубиной от 10 до 1,5% углерода. Для них характерно высокое содержание  $Fe_2O_3$  как общего (до 20%), так и подвижных форм (1–4% к почве).

Минеральный горизонт A1Bfm подбуров по содержанию микроэлементов и тяжелых металлов: кобальта, никеля, цинка, свинца и кадмия довольно близок к примитивным почвам. В процессе трансформации щебнистого элювия происходит не только физическое измельчение, но и частичный вынос подвижных соединений железа, цинка, хрома и серы, поэтому в мелкоземе уменьшается их содержание (табл. 7, 8). В то же время возрастает количество меди, марганца, свинца. Еще более заметно накопление этих элементов в горизонте A1Bfm подбуров, развивающихся на элювии и элюво-делювии габбро-диабазов под еловыми лесами (табл. 9).

В подподстилочном горизонте подбуров средние концентрации марганца, железа, цинка, хрома, кадмия, свинца несколько (в 1,1–1,25 раза) превышают фоновые для всех почв Валаамского архипелага показатели, что обусловлено влиянием почвообразующих пород основного состава (габбро-диабазов), на которых развиваются данные почвы.

Особенности химического состава минеральных горизонтов подбуров отразились на накоплении элементов в лесных подстилках, в которых выше фоновых для островов концентрации серы, никеля, железа, свинца. Причем среднее содержание последнего

в подстилках (31,6 мг/кг), так же как и в минеральных горизонтах, соответствует 1 ПДК, а максимальное – почти 2 ПДК.

В связи с развитием процессов биогенного накопления в лесной подстилке аккумулируется больше цинка, никеля и серы по сравнению с залегающим ниже минеральным горизонтом. Следует обратить внимание на различный уровень накопления тяжелых металлов в подстилках еловых и сосновых лесов (табл. 9). В последних аккумулируется несколько больше железа, свинца и никеля, тогда как в ельниках – меди, кадмия и особенно много марганца и цинка. При этом подстилки в еловых лесах, растущих на буроземах, отличаются самым высоким среди других биогеоценозов Валаама содержанием цинка в среднем, равным 300 мг/кг, т. е. 1 ПДК, достигающим в некоторых точках 1,3 ПДК.

В отличие от примитивных почв в подбурях отмечается повышенное (в 1,1–1,6 раза) содержание марганца, цинка, никеля, одновременно пониженное (в 1,1–1,5 раза) железа, кобальта, меди, свинца, кадмия, что определяется их местоположением и большей мощностью лесной подстилки, ее меньшей степенью загрязнения минеральными компонентами.

**Буроземы** (Cambisols) – самые распространенные почвы на островах Валаамского архипелага. Они формируются на переотложенном элюво-делювии габбро-диабазов и морене, обогащенной элювием габбро-диабазов, на плоских вершинах и пологих склонах селыг под хвойными и хвойно-лиственными лесами. Профиль почв состоит из маломощной лесной подстилки, темно-серого, почти черного гумусово-аккумулятивного горизонта A1, который сменяется иллювиально-метаморфическим – Bhfm, окрашенным в красновато-бурые тона, постепенно переходящим в горизонт ВС желтовато-бурого цвета. Ниже лежит сплошная плита габбро-диабазы. Почвообразующие породы сильнокаменистые. Содержание крупнозема (частиц диаметром более 1 мм) в элюво-делювии составляет 10–30%, в моренных отложениях 35–45. Почвы содержат много гумуса, особенно в горизонте A1 (8–12%), валового железа, кальция, магния [26]. Реакция среды кислая, pH солевой суспензии колеблется от 3,5 до 5,0 и зависит от химического состава и количества элювия габбро-диабазов.

Буроземы, развитые на обогащенной морене, содержат больше мелкозема, химический состав которого отличается от буроземов,

формирующихся на элюво-делювии габбро-диабазов, меньшим количеством железа, кальция, магния и повышенным – крупнозема (табл. 1). Различия в минералогическом и химическом составе почвообразующих пород отражаются на количестве тяжелых металлов и серы в профиле (табл. 7, 8).

Действительно, в минеральных горизонтах буроземов, развитых на обогащенных моренных отложениях, содержание всех без исключения тяжелых металлов меньше, чем в буроземах, сформировавшихся на элюво-делювии диабазов, поскольку в почвообразующих породах много минералов алюмосиликатного состава, которые бедны тяжелыми элементами.

Минеральные горизонты буроземов грубогумусных в отличие от других почв Валаама, характеризуются самыми высокими показателями накопления марганца, цинка, железа, хрома, свинца и кадмия, т. е. тех элементов, которые в больших количествах содержатся в почвообразующих породах, представленных элюво-делювием габбро-диабазов (табл. 7, 8).

Отмечено большее накопление серы и почти всех определяемых тяжелых металлов в подподстилочных горизонтах сосновых лесов по сравнению с еловыми (табл. 9), что связано с различным химическим составом почвообразующих пород. За исключением никеля, концентрации всех тяжелых металлов в этом горизонте превосходят в 1,2–1,8 раза средние для островной экосистемы показатели.

Своеобразный состав минеральных горизонтов отражается на накоплении химических элементов в лесных подстилках и наиболее заметно в буроземах грубогумусных. В подстилках, как и в минеральных горизонтах их, аккумулируется больше марганца и цинка, чем в других почвах островов, причем количество последнего особенно велико и составляет 300 мг/кг, что равно 1 ПДК и почти в 2 раза превосходит фоновое по Валааму значение. Также в этом горизонте в меньшей степени повышены концентрации остальных исследуемых элементов, за исключением хрома, кобальта, никеля.

В буроземах, вследствие биогенной аккумуляции, происходит накопление марганца, цинка, никеля, а также серы в лесной подстилке относительно минерального горизонта. Аккумулятивное

их хорошо выражено как в сосновых, так и еловых лесах. Однако в последних уровень содержания в подстилках металлов на 15–25% выше, чем в сосняках. Большее накопление свинца и кадмия в подстилках еловых лесов связано с особенностями строения кроны ели и ее способностью задерживать больше поллютантов.

Несмотря на повышенное содержание тяжелых металлов в рассматриваемых буроземах по сравнению с другими почвами Валаамского архипелага, уровень их не превышает ПДК, а никеля, кобальта, меди, хрома намного (в 3–20 раз) ниже.

**Буроземы оподзоленные** (Albic Cambisols) имеют ограниченное распространение и приурочены к пониженным элементам рельефа. Развиваются они на озерных песках с включением элюводелювия габбро-диабазов под елово-березовыми и елово-сосновыми черничными лесами. Характерной особенностью оподзоленных буроземов является наличие элювиально-гумусово-аккумулятивного горизонта (A1A2) белесовато-серого цвета. Почвы сильнокислые, pH солевой суспензии изменяется в пределах 3–4; степень насыщенности основаниями колеблется около 50%. Они богаты соединениями фосфора, но бедны калием [26].

По сравнению с буроземами эти почвы содержат меньше кальция, магния, калия, натрия, титана и почти всех исследуемых тяжелых металлов (табл. 8). В минеральной части профиля их накапливается (в 1,5–6 раз) меньше цинка, марганца, кобальта, хрома, свинца, кадмия и серы. Это снижение вызвано различным химическим составом почвообразующих пород, на которых залегают почвы, а также повышенным увлажнением, способствующим миграции подвижных соединений элементов в профиле. Уровень всех без исключения тяжелых металлов в минеральном горизонте буроземов оподзоленных многократно (в 2–12 раз) ниже ПДК.

Пониженное количество тяжелых металлов в минеральной части профиля буроземов оподзоленных повлияло на накопление их в горизонте лесной подстилки, где их содержание ниже, чем в буроземах и тем более средних по Валааму данных.

Вследствие биогенной аккумуляции, в лесных подстилках рассматриваемых почв отмечается превышение (в 2–4 раза) содержания марганца, цинка, никеля и серы по сравнению с нижележащим минеральным горизонтом. В то же время здесь меньше (в 1,6–2,4

раза) хрома, кобальта, меди и почти на порядок – железа. Следует отметить, что средние концентрации исследуемых тяжелых металлов в лесных подстилках буроземов оподзоленных значительно ниже предельно допустимых норм. Однако накопление в некоторых точках свинца до 43 мг/кг (т. е. 1,3 ПДК) указывает на загрязнение почвы.

**Буроземы глеевые** (Gley Cambisols) приурочены к нижним частям склонов и подножиям гряд, т. е. к тем местам, где имеется дополнительный приток влаги, либо повышенное увлажнение вследствие близкого залегания кристаллических пород или ленточных глин, которые являются геохимическим барьером на пути миграции водорастворимых соединений элементов. Данные почвы развиваются преимущественно на моренных супесчаных отложениях под смешанными елово-березовыми лесами с моховым или разнотравным напочвенным покровом. Почвенный профиль состоит из задернованной лесной подстилки (Ад), темно-серого с буроватым оттенком гумусового горизонта (A1) с хорошей комковато-зернистой структурой. В нижележащем горизонте наблюдаются следы оглеения в виде ржавых и сизых пятен, рыхлых железистых и марганцовистых стяжений, которое книзу усиливается, и постепенно формируются сизые глеевые горизонты. Почвы кислые, рН солевой суспензии около 4,0; степень насыщенности поглощающего комплекса основаниями составляет 70–90%. Верхние горизонты почв содержат много гумуса, азота и фосфора, но бедны калием.

Буроземы глеевые формируются на полимиктовых почвообразующих породах, что отразилось на содержании химических элементов в профиле (табл. 7, 8).

По сравнению с буроземами автоморфного ряда увлажнения минеральные горизонты рассматриваемых почв содержат меньшее количество тяжелых металлов (Zn, Mn, Fe, Cu, Co, Cr), что связано как с особенностями химико-минералогического состава почвообразующих пород, так и с большей миграционной способностью элементов и их соединений в условиях повышенной влажности.

В то же время в минеральных горизонтах этих почв накапливается свинец, кадмий и особенно много серы (1560 мг/кг), что можно объяснить поступлением их из выше расположенных почв и осаждением в виде органо-минеральных комплексов, а также

суспензионным переносом илистых частиц, обогащенных данными элементами.

Лесные подстилки буроземов глеевых, как и минеральные горизонты их, содержат меньше тяжелых металлов и серы, по сравнению с почвами автоморфного ряда увлажнения. В этом горизонте выше средних по Валааму концентрации марганца (в 1,6 раза) и кадмия (в 1,3 раза), а количество остальных определяемых элементов либо ниже, либо близко к фону (кобальт).

Отмечено большее накопление марганца (в 6 раз) и цинка (в 1,5 раза) в лесной подстилке относительно нижележащего минерального горизонта, свидетельствующее о развитии процессов биогенной аккумуляции. Тем не менее все полученные значения тяжелых металлов для буроземов глеевых значительно ниже официально установленных предельно допустимых норм.

**Подзолистые почвы (Podzols)** на островах архипелага менее распространены, чем подбуры и буроземы. Они занимают нижние части склонов, плоские понижения и формируются обычно на озерных песках или сильнокаменистой супесчаной морене под еловыми или смешанными чернично-травяными лесами. Мощность моренных и озерных отложений варьирует от 10 см до 2 м и более, и часто морена на небольшой глубине подстилается сплошной плитой габбро-диабазы.

Профиль почв состоит из лесной подстилки, белесовато-серого горизонта A1A2, в котором сочетаются признаки подзолообразования и слабого гумусонакопления, иллювиально-железистого горизонта Bf, постепенно переходящего в почвообразующую породу. Почвы кислые, pH солевой суспензии колеблется около 3,5, повышаясь книзу до 4,5. Содержание гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте составляет 2–4%, а ниже резко падает. Полимиктовость почвообразующих пород и включения габбро-диабазов сказались на слабой интенсивности подзолообразования и повышенном содержании железа, калия, натрия, кальция, титана и других тяжелых металлов по сравнению с подзолистыми почвами на легких породах [5, 36] Северо-Запада России.

Силикатный состав почвообразующих пород обусловил более низкое количество серы и всех тяжелых металлов в подзолистых почвах по сравнению с почвами буроземного типа (табл. 7, 8).



Содержание исследуемых элементов ниже (в 1,4–4 раза) средних для всех почв Валаама значений и тем более – ПДК. Только в отдельных местах, где в мелкоземе много частиц габбро-диабазы, отмечено накопление железа (до 70 000 мг/кг).

Влияние пород отражается и на меньшей аккумуляции серы и тяжелых металлов (кроме меди) в лесных подстилках, в которых уровень их содержания в 1,1–1,5 раза ниже средних значений, характерных для почв островов. Особенно в них мало железа, его количество здесь в 5 раз меньше фонового. Пространственная изоляция подзолистых почв от побережий и дорог определила относительно слабое накопление в верхнем слое таких загрязнителей, как сера, свинец и кадмий. В то же время, вследствие развития процессов биогенной аккумуляции, отмечается превышение концентрации серы, марганца, меди, цинка в лесной подстилке по сравнению с нижележащим минеральным горизонтом. Уровни содержания исследуемых тяжелых металлов в подзолистых почвах остаются значительно ниже предельно допустимых концентраций.

**Болотно-подзолистые почвы** (Gley Podzols) занимают лощины, подножия гряд или нижние части их склонов. Распространены на территориях с повышенным увлажнением, вызванным либо временным застоем поверхностных вод вследствие близкого подстилания ленточными глинами или плитой габбро-диабазы, либо высоким уровнем залегания слабоминерализованных грунтовых вод. Эти почвы развиваются преимущественно на озерных или озерно-ледниковых песках под влажными елово-березовыми лесами. Устойчивое сезонное переувлажнение почв затрудняет разложение растительных остатков и приводит к образованию торфянистого (АТ) или перегнойного горизонта (Ап), формирующегося под подстилкой (АО). Ниже залегает отчетливо выраженный подзолистый горизонт (А2 или А2g), который сменяют иллювиальные горизонты (Bf, Bg), переходящие в оглеенную почвообразующую породу – Сg (Д). Наиболее характерными свойствами болотно-подзолистых почв являются кислая реакция, слабая насыщенность поглощающего комплекса основаниями, низкое содержание гумуса, накопление подвижных соединений железа, морфологически проявляющееся в виде сизых пятен в профиле.

Концентрации большинства исследуемых элементов в минеральных горизонтах болотно-подзолистых почв в среднем в 1,2–3 раза ниже, чем в подзолистых почвах (табл. 8). Только изменение железа более значительное – в 20 раз. Исключение составляет медь, аккумуляция которой зависит от наличия ее в почвообразующей породе, поскольку в кислой и восстановительной среде соединения меди слабоподвижны. Это нашло отражение в малом накоплении ее в лесных подстилках болотно-подзолистых почв.

Вследствие повышенного увлажнения и перегнойного состава органогенного горизонта в нем аккумулируется больше, чем в подзолистых почвах таких элементов, как сера, марганец, никель, цинк и хром. Это накопление может быть связано как с биогенным поглощением их растительностью, кроме хрома, и постепенным накоплением в растительных остатках, так и с образованием органо-минеральных соединений, мигрирующих в почвенном профиле в условиях кислой среды.

Среди почв островной экосистемы болотно-подзолистые отличаются самым низким в лесных подстилках содержанием железа, а в минеральной части профиля всех определяемых элементов. Особенно мало в почвах железа, его количество в подстилках составляет в среднем 1180 мг/кг, в минеральных горизонтах 1090, что ниже средних по Валааму показателей в 10 и 35 раз соответственно. В последних, наряду с железом, значительно ниже фоновых, концентрации марганца (в 10 раз), цинка (в 5), кобальта, никеля, свинца, кадмия, хрома и серы.

**Болотные почвы** (Histosols) формируются в условиях избыточного увлажнения в глубоких депрессиях или в понижениях между грядами под влаголюбивой растительностью, где процессы минерализации растительных остатков заторможены и происходит накопление торфа. В зависимости от условий водно-минерального питания болотные почвы подразделяются на верховые, переходные и низинные, а по мощности органогенной толщи – на торфяные и торфяно-глеевые. В последних мощность торфяной толщи не превышает 50 см. Ее сменяют глеевые горизонты, залегающие на глинах или кристаллических породах.

Преобладают в основном торфяно-перегнойно-глеевые почвы низинного типа, они развиваются в местах распространения буро-

земов там, где есть приток минерализованных грунтовых вод под елово-березовыми хвоево- и разнотравно-сфагновыми лесами. Почвы характеризуются кислой реакцией, рН солевой суспензии 3,5–4,0, высокой зольностью, содержат много элементов-органогенов: калия, кальция, фосфора. Накопление тяжелых металлов в болотных почвах зависит от зольного состава растений-торфообразователей, химического состава грунтовых вод и кислотности почв, определяющей степень подвижности химических элементов.

Перегноино-глеевые почвы накапливают больше серы (9620 мг/кг) и железа (21600), чем другие почвы Валаамского архипелага, так как они встречаются среди массивов, сложенных габбро-диабазам. Пониженное положение их в рельефе также способствовало накоплению мигрирующих подвижных соединений и суспензий, содержащих серу и тяжелые металлы.

В верхнем горизонте, представленном оторфованной лесной подстилкой, по сравнению с нижележащим, накапливается в 6 раз больше серы и марганца и почти в 2 – железа, цинка, хрома. Это, очевидно, обусловлено не только биогенной аккумуляцией и поступлением их в виде суспензионного стока с верхних элементов рельефа в нижние, но и развитием процессов гидрогенного накопления.

В отличие от буроземов, в верхнем органогенном горизонте перегноино-глеевых почв содержится меньше марганца, цинка, свинца, кадмия, а в нижележащих горизонтах также железа и хрома, что определяется другим химико-минералогическим составом почвообразующих пород. За исключением серы и железа, хрома, кобальта, меди концентрации определяемых элементов в нем в 1,4–3 раза ниже средних для островной территории показателей и многократно – ПДК. Особенно мало в лесных подстилках таких опасных поллютантов, как цинк (54 мг/кг), свинец (11) и кадмий (0,38), их показатели накопления здесь самые низкие среди всех почв Валаама.

Исследования показали, что содержание тяжелых металлов и серы в почвах Валаамского архипелага связано с особенностями почвенного покрова, в составе которого преобладают буроземы, сформировавшиеся на элюво-делювии габбро-диабазов, моренных и озерных отложениях с высоким содержанием диабазов и габбро-

диабазов. Почвы, развитые на элюво-делювии диабазов, занимающих кристаллические гряды, содержат больше тяжелых металлов, чем буроземы, развитые на моренных отложениях, которые менее обогащены элювием диабазов.

Почвенно-геохимическое обследование позволило установить уровни содержаний серы и 9 тяжелых металлов в основных генетических типах почв и в почвообразующих породах на островах Валаамского архипелага.

## ГЛАВА 6

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕРЫ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА

Полученные массивы аналитических данных обработаны статистически (табл. 10–12). На основе корреляционного анализа оценивается теснота связи между концентрациями отдельных элементов и с величиной pH (табл. 14, 15), устанавливаются возможные формы переноса этих элементов. Компьютерные карты пространственного распределения почвенной кислотности, концентрации Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb и серы (рис. 6–29) позволяют сделать выводы о характере и масштабе загрязнения почвенного покрова Валаамского архипелага.

Таблица 10

Вариационно-статистические показатели содержания  
исследованных элементов в лесных подстилках, мг/кг

Элемент	Пределы колебания		Среднее	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %
	min	max			
S	486	2010	1240	363	29,32
Cr	4,4	25,9	10,0	5,3	52,76
Mn	96,8	1950	764	550	72,00
Fe	860	68700	11900	15500	130,40
Co	0,9	8,5	2,6	1,5	57,38
Ni	3,3	27,9	7,7	4,6	59,73
Cu	4,6	58,7	14,0	11,6	82,66
Zn	38,5	450	170	92,4	54,22
Cd	0,3	2,0	0,74	0,3	35,66
Pb	6,8	64,5	26,2	13,0	49,38

**Кислотность почвы.** Тяжелые металлы, поступающие с атмосферными осадками и в результате их гравитационного осаждения,

аккумулируются на поверхности растений, а основная масса фиксируется в верхнем почвенном слое, поэтому микроэлементный состав почв во многом зависит от химического состава и кислотности атмосферных осадков.

Накопленные авторами материалы многолетнего мониторинга природных вод в лесных экосистемах заповедников Карелии свидетельствуют о том, что на охраняемых природных территориях республики наблюдаются кислые осадки [41, 42, 43]. При этом установлено, что среднегодовые значения pH осадков варьируют от 3,6 до 4,8 в заповеднике «Костомукшский» (северная тайга) и от 4,4 до 5,3 – в заповеднике «Кивач» (средняя тайга). Очевидно, что выпадение постоянно кислых осадков, отличающихся очень низкой минерализацией и щелочностью, представляет потенциальную опасность как источник закисления и загрязнения почв и поверхностных вод региона.

Таблица 11

Вариационно-статистические показатели содержания исследованных элементов в верхних минеральных горизонтах почв, мг/кг

Элемент	Пределы колебания		Среднее	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %
	min	max			
S	286	1440	612	259	42,27
Cr	5,5	38,3	23,4	7,6	32,40
Mn	62,0	1710	513	404	78,81
Fe	1450	72000	38000	2220	58,46
Co	2,1	19,0	6,4	3,1	48,36
Ni	1,5	21,2	4,9	3,1	63,15
Cu	1,4	38,7	14,8	10,6	71,80
Zn	13,2	440	129	86,2	66,64
Cd	0,2	1,4	0,76	0,27	35,71
Pb	7,9	64,5	25,2	13,0	51,51

Таблица 12

Статистические показатели кислотности (pH) почв

Горизонт	pH <sub>H2O</sub>				pH <sub>KCl</sub>			
	min	max	med	Коэффициент вариации, %	min	max	med	Коэффициент вариации, %
Подстилка	3,80	6,22	4,88	11,66	2,86	5,45	4,05	15,61
Минеральный	3,60	5,70	4,48	11,76	2,75	4,81	3,59	14,29

Тем более что в почвенном покрове островов Валаамского архипелага преобладают почвы легкого механического состава: песчаные и супесчаные, которые наиболее чувствительны к кислотным выпадениям. Поэтому проблема закисления почв становится актуальной и для Валаама. Действительно, нашими исследованиями установлено, что значения pH водной суспензии лесных подстилок на всей обследованной территории изменяются от 3,8 до 6,2, рассматриваемого минерального горизонта от 3,6 до 5,7 (табл. 12). Из 56 образцов подстилки 36 имеют сильноокислую или кислую реакцию среды. В то же время лесная подстилка менее кислая, чем нижележащий горизонт, что, видимо, объясняется высоким содержанием кальция в обильно развитых травянистых растениях [26].

Наиболее кислые слабоподзолистые иллювиально-железистые почвы встречаются на всех островах. Эти почвы развиваются на низких слабоволнистых равнинах, сложенных озерными песками под еловыми лесами черничного типа с хорошо развитым травяным покровом, способствующим аккумуляции органического вещества. Наряду со слабоподзолистыми почвами повышенной кислотностью отличаются торфяные почвы, которые формируются в условиях затрудненного дренажа и неполного разложения растительных остатков.

Всю территорию Валаама условно можно разделить на зоны по уровню кислотности почвы: очень сильноокислые – при  $\text{pH} < 3$ , сильноокислые – 3–4, кислые – 4–5, слабокислые – 5–6, нейтральные – 6–7 (рис. 6–9). Фоновые значения pH находятся в пределах от 4 до 5. На этом фоне выделяются площади с  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  3–4, приуроченные к пристани и другим точечным объектам загрязнения, и участки с пониженным уровнем кислотности ( $\text{pH}_{\text{KCl}} > 5$ ), характерным для антропогенно нарушенных почв (пашни, сенокосы, осушение).

Значения pH водной и солевой вытяжки характеризуются сравнительно слабым пространственным варьированием: коэффициенты вариации значений pH не превышают 16%. Как известно, наиболее динамична кислотность лесных подстилок. Одним из важнейших факторов естественного варьирования ее является тип растительности. Показатели pH верхних горизонтов могут

изменяться в соответствии с парцеллярным строением фитоценоза. При этом в различных экологических условиях микрорельеф, древостой и напочвенная растительность оказывают неодинаковое влияние на кислотность почв.

Другим фактором, который может приводить к значительному пространственному варьированию всех свойств, в том числе и кислотности лесных почв, являются ветровалы, вызывающие перемешивание различных почвенных горизонтов. Значительные площади с полностью вываленными деревьями встречаются и на побережье о. Валаам. Однако количественно оценить влияние ветровалов на современное варьирование почвенных характеристик без специальных исследований достаточно сложно.

Сравнение кислотности почв Валаама в период обследования с данными 15-летней давности показывает, что за эти годы средняя величина pH солевой суспензии верхнего органогенного горизонта снизилась на 0,2 единицы и на столько же повысилась в подподстилочном горизонте. При этом диапазон колебаний значений pH лесной подстилки расширился как за счет нижнего предела (снижение  $pH_{KCl}$  с 3,3 до 2,8), так и верхнего (повышение  $pH_{KCl}$  с 4,5 до 5,4). Анализ имеющихся материалов позволяет предполагать, что подкисление верхнего органогенного горизонта почв островной экосистемы во времени происходит под влиянием кислотных выпадений, характерных для данного региона.

**Сера.** Установленный средний уровень ее содержания в лесных подстилках Валаамского архипелага (1240 мг/кг) в 1,1 раза ниже, чем в Северном Приладожье и во столько же раз выше среднего значения элемента, характерного для верхних органогенных горизонтов почв Карелии, принимаемого за региональный фон (табл. 13).

В минеральном горизонте диапазон флуктуации концентрации серы заметно уже, чем в подстилках (табл. 10, 11), при более высоком коэффициенте вариации – 42,3 и 29,3%, соответственно. В этом горизонте содержится почти вдвое меньше серы (612 мг/кг), чем в верхней органогенной части профиля, ее поглощение лесными подстилками идет более интенсивно, чем минеральными горизонтами на всей обследованной территории.



Таблица 13

Содержание тяжелых металлов и серы в лесных подстилках  
Северного Приладожья и Карелии в целом [37]

Район	Элементы, мг/кг									
	S	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Лахденпохский	1340	8,0	208	1410	1,5	7,6	17,5	63,1	0,52	31,5
Сортавальский	1430	13,0	170	4750	1,5	14,4	12,7	56,5	0,55	30,0
Питкярантский	1310	14,0	112	4120	1,8	17,2	8,5	74,4	0,59	40,0
Карелия	1120	10,0	403	2740	2,0	7,2	63,4	83,0	0,54	26,6

В соответствии с имеющимися данными проведена градация почв по содержанию серы в верхнем слое. Выделено 5 уровней: < 700 мг/кг, 700–1000, 1000–1300, 1300–1600 и > 1600 мг/кг.

Анализ пространственной изменчивости содержания серы в лесных подстилках показывает, что на территории архипелага преобладают почвы с содержанием элемента от 1000 до 1300 мг/кг. В то же время можно выделить несколько зон с повышенными и высокими концентрациями (1300–1600 мг/кг): это почти вся северо-восточная часть о. Валаам и несколько относительно небольших площадей в юго-западной и восточной частях острова. Максимальное накопление серы (более 1600 мг/кг) наблюдается в почвах на побережье острова, преимущественно в местах, где находятся руины укрепрайона (мыс Красный, полуостров Мустанена (мыс Черный Нос). Прибрежное расположение почв способствует накоплению серы в районе пристани и Воскресенского (Красного) скита.

Таким образом, особенностью распределения серы в почвах и почвенном покрове Валаама является локальность ее накопления, связанная, по всей вероятности, не только с биогенной аккумуляцией, но и с аэротехногенным загрязнением территории. Корреляционный анализ (табл. 14–15) выявил наличие положительной связи только между серой и свинцом в горизонте лесной подстилки ( $r = 0,53$ ), поэтому можно предположить, что для этих элементов существуют одинаковые источники поступления их в почву.

**Хром.** Его количество изменяется от 4 до 26 мг/кг в подстилках и от 5 до 38 мг/кг в исследованных минеральных горизонтах при вариационных коэффициентах, равных соответственно 52,8 и 32,4%. Среднее содержание хрома в верхних органогенных горизонтах почв

Валаама (10 мг/кг) соответствует количеству его в лесных подстилках Северного Приладожья (12 мг/кг) и Карелии в целом (10 мг/кг).

Таблица 14

Матрица коэффициентов парной корреляции, лесная подстилка

Пере- менная	S	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>KCl</sub>
S	1											
Cr	-0,54	1										
Mn	0,35	-0,27	1									
Fe	-0,29	0,52	0,04	1								
Co	-0,26	0,57	-0,06	0,49	1							
Ni	-0,07	0,42	0,00	0,02	-0,06	1						
Cu	-0,30	0,28	-0,10	0,03	0,35	-0,23	1					
Zn	0,40	-0,04	0,66	0,22	0,19	0,13	-0,05	1				
Cd	0,37	-0,04	0,56	0,26	0,20	-0,04	-0,04	0,67	1			
Pb	0,53	-0,37	0,08	-0,02	-0,09	-0,21	-0,05	0,16	0,28	1		
pH <sub>H2O</sub>	-0,30	0,49	0,12	0,27	0,44	0,11	0,40	0,31	0,28	-0,39	1	
pH <sub>KCl</sub>	-0,24	0,38	0,22	0,06	0,30	0,18	0,35	0,33	0,24	-0,43	0,94	1

Таблица 15

Матрица коэффициентов парной корреляции, минеральный подподстилочный горизонт

Пере- менная	S	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>KCl</sub>
S	1											
Cr	-0,15	1										
Mn	0,18	0,51	1									
Fe	-0,24	0,41	0,36	1								
Co	-0,06	0,62	0,40	0,66	1							
Ni	0,06	0,31	-0,02	0,12	0,37	1						
Cu	-0,05	0,18	0,07	-0,20	-0,19	0,05	1					
Zn	0,14	0,49	0,69	0,65	0,63	0,11	-0,21	1				
Cd	0,13	0,45	0,47	0,64	0,61	0,30	-0,25	0,66	1			
Pb	0,38	0,41	0,41	0,15	0,17	0,01	0,21	0,26	0,46	1		
pH <sub>H2O</sub>	0,06	0,44	-0,10	0,30	0,43	0,37	0,02	0,50	0,26	-0,10	1	
pH <sub>KCl</sub>	0,11	0,38	-0,10	0,21	0,34	0,36	0,07	0,48	0,20	-0,10	0,96	1

Накопление хрома относительно подстилки приурочено к нижележащему минеральному горизонту. Увеличение содержания Cr

в этой части профиля (в среднем в 2 раза) характерно для большинства точек опробования (94%) и связано с влиянием почвообразующих пород основного состава (габбро-диабазов), характеризующихся повышенным содержанием этого элемента (табл. 7).

Оценивая уровень содержания хрома в почвах Валаама, отметим, что он ниже кларка в почве по А. П. Виноградову, равного 200 мг/кг [7], а также – ПДК (100). Полученные значения ниже и региональной оценки содержания элемента, произведенной более 40 лет назад и составляющих в большинстве почв Карелии 70–80 мг/кг [21].

Низкое содержание хрома в подстилке и среднее – в нижележащем минеральном горизонте, характерное для всей обследованной территории, свидетельствует об отсутствии Cr загрязнения.

**Марганец.** Концентрации его колеблются от 97 до 1950 мг/кг в подстилках и от 62 до 1710 в исследованных минеральных горизонтах. Средние содержания этого элемента, составляющие соответственно 764 и 513 мг/кг, ниже кларка (850) и фоновых концентраций для почв в целом по России [15]. При этом следует иметь в виду, что наши расчеты относятся только к верхней части почвенного профиля.

Сопоставление уровня содержания марганца в лесных подстилках Валаама и Северного Приладожья показывает, что на островной территории он в 5 раз выше, а также почти вдвое превосходит фоновое значение элемента для всей территории Карелии (403 мг/кг).

Обычно марганец аккумулируется в верхнем почвенном слое вследствие его фиксации органическим веществом. Действительно, для большинства обследованных почв характерно накопление его в горизонте лесной подстилки. Реже (в 20% случаев) отмечается распределение элемента в почве по элювиальному типу, т. е. с минимумом его на поверхности почвенного профиля, когда преобладают процессы выщелачивания и выноса Mn из горизонта лесной подстилки над процессами биогенного накопления. Выявлено, что на распределение марганца по профилю почвы оказывает заметное влияние степень выраженности буроземного, дернового и подзолообразовательного процессов [26], а также окультуренность почв. В пахотных почвах о. Валаам

концентрация марганца всегда меньше, чем в аналогичных почвах под древесной растительностью, что еще раз подтверждает значение растительности в распределении элементов по профилю почвы.

Анализ пространственной изменчивости марганца показывает, что фон Валаама составляют почвы с содержанием элемента в верхней органогенной части профиля от 500 до 1000 мг/кг (рис. 14, 15). Отдельными островками представлены контуры с очень низким количеством Mn, соответствующие наиболее бедным перегнойно-подзолисто-глеевым или глееватым почвам, буроземам скелетным или примитивным почвам на скале. Сравнительно небольшая часть островной территории занята почвами с концентрациями марганца в пределах 1000–1500 мг/кг. Это не единая территория, а отдельные участки, причем один из самых больших по площади расположен на юге о. Валаам.

Повышенные и высокие показатели накопления марганца (более 1500 мг/кг) приурочены к почвам буроземного типа, сформировавшимся на элюво-делювии габбро-диабазов под еловыми черничными и кисличными лесами, в которых идет его интенсивная биогенная аккумуляция. Для 11 проб (из 61) из горизонта лесной подстилки содержание Mn выходит за пределы ПДК (1500 мг/кг), а для остальных – значительно ниже. Пробы с повышенными концентрациями марганца разбросаны по территории о. Валаам, отмечается его точечное аккумулятивное.

**Железо.** Среди рассматриваемых элементов в почвах островной экосистемы доминирует железо, его концентрации в лесных подстилках достигают 860–68700 мг/кг, а средний уровень содержания (11900 мг/кг) повышен в 3–4 раза по сравнению с районами Северного Приладожья (3430) и фоном по Карелии в целом (2740).

Особенно много железа в нижележащем минеральном горизонте, здесь уровень его накопления почти в 3 раза выше, чем в лесных подстилках. В условиях Валаама высокие концентрации железа в породе в значительной степени наследуются почвами и свидетельствуют о большом влиянии процессов почвообразования на аккумуляцию и миграцию его соединений в профиле.

В связи с варьированием степени основности почвообразующих пород и почв на Валааме отмечается широкий диапазон флук-

туации значений концентрации железа как для лесных подстилок, так и минеральных горизонтов (табл. 10, 11). При этом наиболее высокой вариабельностью (130%) отличается железо в верхнем органогенном горизонте, тогда как с глубиной этот показатель снижается вдвое (до 58%), т. е. наблюдается наибольшее варьирование элемента в том горизонте, где количество железа было наименьшим.

По уровню содержания железа в верхней органогенной части почвенного профиля всю территорию архипелага можно условно разделить на 2 части: с высоким содержанием железа и с повышенным (рис. 16, 17). В то же время количество железа в подподстилочном минеральном горизонте оценивается как очень высокое на всей территории островов. При этом еще раз подчеркнем, что характерная для почв Валаама обогащенность железом объясняется не столько антропогенным воздействием, сколько минералогическим составом почвообразующих пород основного состава (габбро-диабазов), характеризующихся высоким содержанием этого элемента.

Анализ корреляционных связей концентрации элементов (табл. 14, 15) показал, что существует средняя связь между распределением железа и кобальта как в лесных подстилках ( $r = 0,49$ ), так и в рассматриваемых минеральных горизонтах ( $r = 0,66$ ). Усиление этой связи с глубиной, прежде всего, свидетельствует о превалирующем влиянии химического состава почвообразующих пород на естественное накопление элементов в почве.

**Кобальт.** Среднее содержание Со в верхнем органогенном горизонте почв (2,6 мг/кг) находится на уровне значений, характерных для лесных подстилок карельской подзоны средней тайги (2,8) и Карелии в целом (3,0), хотя и несколько выше, чем в районах Северного Приладожья.

Накопление кобальта, как правило, отмечается в нижележащем минеральном горизонте, где его содержание в 2,5 раза выше, чем в лесных подстилках и составляет в среднем 6,4 мг/кг. Только в одной точке отбора проб количество кобальта в горизонте лесной подстилки было больше, чем в минеральном. Это указывает на то, что основным источником поступления кобальта в почву является почвообразующая порода.

По исследованиям М. А. Тойкка, Е. М. Перевозчиковой, Т. И. Левкиной, В. М. Заварзина [36], выполненным в 60-е годы, почти вся территория Карелии (90% площади) занята почвами с пониженным содержанием  $\text{Co}$ , до 5 мг/кг, а в подстилках подзолов песчаных его количество, как правило, не выше 3 мг/кг. Эти значения сопоставимы с аналогичными данными, характерными для почв Валаамского архипелага. Вместе с тем отметим, что в верхних горизонтах исследуемых почв среднее содержание кобальта ниже кларка в почве (10 мг/кг) и тем более ПДК (50). Уровень содержания его в подподстилочном горизонте в большинстве проб (63%) несколько превышает официально установленную ориентировочно допустимую концентрацию для песчаных и супесчаных почв, равную 5 мг/кг.

Анализ полученных данных и карто-схем показал, что фон островов составляют почвы со средним содержанием кобальта в верхней органогенной части профиля, лишь фрагментарно встречаются участки с низким его количеством (рис. 18, 19). В 4-х точках обнаружены значения  $\text{Co}$  в интервале от 5 до 8,5 мг/кг, две из них находятся в районе оборонных сооружений на крайнем северо-востоке о. Валаам и на юге – о. Оборонный. Повышенное точечное содержание элемента выявлено также на о. Скитский вблизи скита Всех Святых и в центральной части островной экосистемы.

Небольшое накопление кобальта (до 5–19 мг/кг), приуроченное к подподстильным минеральным горизонтам, наблюдается на большей части обследованной территории и, очевидно, обусловлено особенностью микроэлементного состава почвообразующих пород. Об этом может свидетельствовать корреляционный анализ: в подстилке кобальт связан только с хромом ( $r = 0,57$ ) и железом ( $r = 0,49$ ), тогда как в нижележащем минеральном горизонте обнаруживается большее число пар элементов, коррелирующих с  $\text{Co}$  –  $\text{Cr}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cd}$  ( $r = 0,61$ – $0,66$ ).

**Никель.** Размах колебаний концентрации элемента в верхнем органогенном горизонте почв составляет 3,3–27,9 мг/кг, в этот интервал входят 57 значений от 3,3 до 15 и 5 значений выше 15. Рассчитанное среднее содержание никеля (7,7 мг/кг) равно его фоновому показателю для лесных подстилок среднетаежной подзоны Карелии и республики в целом (7,2) (7,6).

Диапазон флуктуации значений этого элемента в подподстилочном минеральном горизонте составляет от 1,5 до 21 мг/кг, причем большинство из них (94%) не превышают 10. Для сравнения, его количество в 60-е гг. прошлого столетия в почвах Карелии варьировало от 4 до 60 при средних концентрациях 12–18 мг/кг [35]. Результаты наших исследований свидетельствуют, что все полученные значения Ni ниже ПДК (50 мг/кг), а 98% из них не превышают и установленную для песчаных и супесчаных почв величину ОДК (20). Количество его в почвах Валаама значительно ниже кларка (40 мг/кг).

В большинстве исследованных почв выражено слабое биогенное накопление никеля в горизонте лесной подстилки (относительно нижележащего минерального горизонта). Несколько иное распределение его по профилю наблюдается в кислых буроземах, сформировавшихся под еловыми лесами, где не создаются предпосылки для значительной биогенной аккумуляции никеля. Уровень его содержания в поверхностных горизонтах почв на всей обследованной территории низкий и только в лесных подстилках на о. Скитский вблизи скита Всех Святых (Белый скит) достигает средних значений. Это свидетельствует о том, что загрязнение Ni почв островной экосистемы Валаама в настоящее время не происходит.

**Медь.** Количество валовой меди в лесных подстилках архипелага колеблется от 4,6 до 58,7 мг/кг, в нижележащем минеральном горизонте от 1,4 до 38,7 при средних значениях 14,0 и 14,8, соответственно. По уровню ее содержания сравниваемые горизонты не имеют существенных различий, хотя следует отметить слабую тенденцию к повышению его (в 44% случаев) в подстилках, имеющую, видимо, биогенный характер. Это количество меди соответствует среднему, характерному для лесных подстилок Северного Приладожья, и намного ниже значений, установленных для среднетаежной подзоны Карелии (65,1 мг/кг) и Карелии в целом (63,4 мг/кг). Вместе с тем следует отметить, что приведенные данные по Валааму близки к региональной оценке, выполненной более 40 лет назад [36], согласно которой в большинстве почв Карелии количество меди менее 12 мг/кг, а ее территория отнесена к биогеохимической провинции с низким содержанием данного элемента.

Из полученных данных следует, что количество меди в почвах островов несколько ниже кларка (20 мг/кг). Биогенное накопление ее несущественно. Лесные подстилки Валаама обеднены медью по сравнению с подстилками на всей территории Карелии, что, очевидно, обусловлено формированием почв на бедных медью почвообразующих породах (табл. 7).

Оценивая содержание меди, отметим, что все полученные значения намного ниже ПДК (100 мг/кг), лишь 5 из 49 значений для минерального горизонта превышают официально установленное для песчаных и супесчаных почв значение ОДК (33 мг/кг). Как видно из представленных данных (рис. 22, 23), большая часть территории архипелага занята почвами с пониженным содержанием меди, однако, при этом не исключается процесс ее современного антропогенного накопления.

**Цинк.** Его среднее содержание как в лесной подстилке (170 мг/кг), так и в нижележащем минеральном горизонте (129) ниже установленного для почв значения ПДК, равного 300 мг/кг. Однако в 6 пробах (из 62) из подстилки и в 2 пробах (из 49) из залегающего ниже минерального горизонта обнаружено его превышение до 1,5 ПДК.

Анализ результатов показывает, что уровень содержания цинка в верхнем органогенном горизонте почв архипелага повышен как по сравнению с районами Северного Приладожья (в 2–3 раза), так и Карелии в целом (в 2 раза). В верхних горизонтах почв островной экосистемы средние значения валового цинка превышают кларк в почве (50 мг/кг), а также региональный уровень содержания элемента, рассчитанный 40 лет назад (менее 10 мг/кг). По последнему показателю территория Карелии была отнесена М. А. Тойкка и др. [36] к биогеохимической провинции с низким содержанием цинка. Только отдельные районы характеризовались повышенным его количеством: это Заонежский полуостров, где расположены шунгитовые (дерновые и литогенные) почвы (60–90 мг/кг), и район Прибеломорской низменности с маршевыми почвами (до 90–150 мг/кг) на морских глинах.

Характерной особенностью почв Валаама является значительная аккумуляция цинка в лесных подстилках, где его содержание в среднем в 1,3 раза выше, чем в рассматриваемом мине-



ральном горизонте. Реже (в 27% случаев) в почвах наблюдается вынос этого элемента из верхней органогенной части профиля.

В соответствии с имеющимися аналитическими материалами выделено 5 интервалов при градации почв по содержанию цинка: < 25 мг/кг (очень низкое содержание), 25–50 (низкое), 50–100 (среднее), 100–150 (повышенное) и > 150 мг/кг (высокое). По этой шкале количество его в верхней органогенной части профиля на большей территории архипелага оценивается как высокое, за исключением центральной части о. Валаам и отдельных участков с повышенными концентрациями (рис. 24, 25). В минеральном горизонте уровень Zn соответствует повышенному, а высокое его количество, как правило, приурочено к местам максимального накопления элемента в горизонте лесной подстилки. Это еще раз подтверждает тесную генетическую связь исследуемых горизонтов почв.

Согласно шкале экологического нормирования тяжелых металлов для почв со слабокислой и кислой реакцией, при содержании в них цинка 150–200 мг/кг уровень загрязнения оценивается как низкий, при 200–500 – средний, 500–1000 – высокий и больше 1000 мг/кг – очень высокий (табл. 5). По этой шкале в 7 точках отбора образцов уровень загрязнения лесных подстилок низкий, а в 24 – средний. Что касается нижележащего минерального горизонта, то содержание элемента в 14 точках соответствует низкому уровню загрязнения, а в 5 – среднему. Концентрации цинка, превышающие ПДК, отмечаются в подстилках на крайнем северо-востоке (м. Черный Нос) и юго-западе (м. Красный) о. Валаам, где находятся руины оборонных сооружений, а также у Гефсиманского (Желтого) скита в западной части острова.

В результате математической обработки данных получены близкие значения коэффициентов корреляции между концентрациями в лесных подстилках цинка и кадмия ( $r = 0,67$ ), цинка и марганца ( $r = 0,66$ ). Такие же значения показателей корреляции установлены и для минеральных горизонтов (табл. 15), что позволяет судить о сходной направленности биогеохимической миграции.

Анализ пространственного распределения цинка, а также оценка его содержания, проведенная на основе отечественных показателей ПДК, шкалы экологического нормирования цинка

[28] и градации почв, принятой нами, свидетельствует о наличии низкого и среднего уровня загрязнения верхнего органогенного горизонта почв на большей территории архипелага. В то же время загрязнение нижележащего минерального горизонта цинком выражено локально.

**Кадмий.** Его концентрации в подстилках варьируют в пределах 0,3–2 мг/кг, в рассматриваемых минеральных горизонтах 0,2–1,4 мг/кг. Средний уровень содержания кадмия в указанных горизонтах одинаковый и составляет 0,75 мг/кг, что несколько превышает характерные значения элемента, установленные для лесных подстилок Северного Приладожья (0,55 мг/кг), подзоны карельской средней тайги (0,59) и республики в целом (0,54). Отметим, что все полученные значения кадмия ниже ПДК, однако в 80% проб показатели его превосходят установленное для песчаных и супесчаных почв значение ОДК, составляющее 0,5 мг/кг.

Анализ территориального распределения кадмия свидетельствует, что точки с повышенным ( $> 0,8$  мг/кг) и высоким уровнем накопления этого элемента в лесных подстилках приурочены преимущественно к прибрежной западной части о. Валаам, где имеется больше источников загрязнения (рис. 26, 27). Его аккумуляция в подстилках наблюдается также на северо-востоке о. Валаам в районе оборонных сооружений и на юго-востоке у Поклонного креста (оз. Крестовое). В местах высокого содержания Cd в подстилке отмечается, как правило, повышенное его количество в нижележащем горизонте.

По шкале экологического нормирования тяжелых металлов для геохимической ассоциации почв со слабокислой и кислой реакцией (табл. 5) содержание кадмия в пределах от 1 до 2 мг/кг соответствует низкому уровню загрязнения. Такой уровень характерен для 10% точек опробования, и поэтому загрязнение кадмием почв Валаамского архипелага можно характеризовать как низкое, имеющее локальный характер.

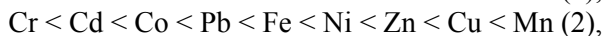
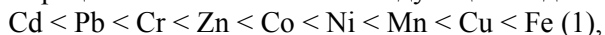
**Свинец.** Размах варьирования концентрации элемента в верхних горизонтах почв составляет 7–65 мг/кг. В этот интервал входят 18 (из 62) значений для подстилки и 9 (из 49) – для нижележащего горизонта, которые выше ПДК, равного 32 мг/кг.

Фоновое накопление свинца в лесных подстилках Карелии составляет 26,6 мг/кг, в районах Северного Приладожья – от 30 до 40, на Валааме – 26,2. На островной территории количество свинца в основных типах почв изменяется от кларковых (10 мг/кг) [7] до значений в 2–3 (4) раза их превышающих. При этом его содержание, превосходящее кларковое, характерно для большинства исследуемых почв.

Почвы в зависимости от валового содержания свинца разделены нами: до 10 мг/кг (с очень низким содержанием), 10–20 (низким), 20–30 (средним), 30–40 (повышенным) и более 40 мг/кг (высоким). Для почв Валаама, согласно этой шкале, характерен средний уровень содержания Pb в лесных подстилках (рис. 28, 29). Участки с повышенными и высокими концентрациями элемента разбросаны по всей островной территории. Они приурочены к почвам, аккумулирующим, по-видимому, бытовые стоки Коневского скита и молочной фермы на западном побережье, а также к прибрежной зоне, где находятся руины оборонных сооружений на северо-востоке архипелага. В подподстилочных минеральных горизонтах содержание свинца не превышает средних значений, и только в районе пристани и Космодамиановского скита (мыс Петровский) отмечена его концентрация.

Проведенные исследования подтвердили важность оценки варьирования показателей микроэлементного состава почв, поскольку содержание микроэлементов изменяется в широких пределах. Это связано с тем, что химические элементы, содержащиеся в почвах в малых количествах ( $10^{-3}$ – $10^{-6}\%$ ), как правило, не рассеиваются равномерно в столь полидисперсной гетерогенной многокомпонентной природной среде, какой является почва. Под воздействием механизмов биотической и абиотической природы создаются зоны концентрирования микроэлементов, и параллельно возникают участки обеднения этими элементами.

Ранжированные по порядку возрастания коэффициенты вариации концентрации элементов имеют следующий вид:



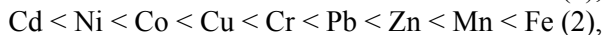
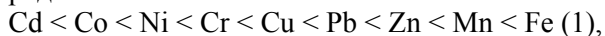
где (1) для подстилки, (2) для нижележащего минерального горизонта.

Коэффициенты вариации концентрации, характеризующие равномерность территориального распределения, для Cd, Pb и серы составляют 30–50%, для Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn – 50–80% и 130% для Fe. Вариабельность полученных данных связана с особенностями геохимии исследуемых элементов, с наличием точечных источников поступления металлов в почву и определяется сложным сочетанием природных, почвенно-геохимических и литологических условий района обследования.

В верхнем органогенном горизонте почв варьирование содержания Fe, Cr, Co, Cu оказалось более выраженным, чем в подподстилочном горизонте. Вариабельность серы, а также Mn, Zn, Ni с глубиной повышается, а Cd и Pb остается на одном уровне. Наибольшее варьирование элемента, как правило, наблюдается в том горизонте, где содержание его было наименьшим: Cr, Fe, Co – в подстилках, а Mn, Zn, Ni и серы – в минеральных подподстилочных горизонтах.

Дифференциация почв по содержанию металлов в их верхних горизонтах обусловлена фаціальным различием пород, а также денудационно-тектоническим рельефом (с которым связана эрозия и поверхностная миграция почвенных частиц и растворенных химических веществ) и неоднородностью растительного покрова.

По степени возрастания концентрации тяжелых металлов в почвах Валаамского архипелага их можно представить в виде геохимических рядов:



где 1 – лесная подстилка,

2 – подподстилочный минеральный горизонт.

Количественное распределение тех же элементов в верхнем органогенном горизонте почв региона (Карелия) отражает следующий ряд:



Последовательность распределения элементов в лесных подстилках на территории Валаамского архипелага и всей Карелии нарушается за счет свинца и меди.

Пониженное содержание меди – отличительная особенность почв Валаама. Содержание ее в лесных подстилках на территории архипе-

лага в 4,5 раза ниже, чем в среднем по Карелии. Это обусловлено формированием почв на бедных медью почвообразующих породах.

Но в то же время отмечено более интенсивное накопление в почвах Валаама железа, марганца, цинка по сравнению с территорией всей Карелии. Повышенное содержание перечисленных тяжелых металлов (в 2–4 раза) и в меньшей степени (в 1,1 раза) серы в лесных подстилках на островной территории связано с особенностями почвенного покрова, в составе которого преобладают буроземы, сформированные на элювии и элюво-делювии габбро-диабазов.

Для почв Валаама характерно пониженное содержание марганца, меди, железа, кобальта и особенно никеля (в 6 раз) и хрома (в 12 раз) по сравнению с кларками [7] и повышенное количество серы, кадмия, свинца, цинка (соответственно в 1,1; 1,5; 2,5; 3,0 раза). Увеличение концентрации таких токсичных элементов, как Cd, Pb, Zn и сера, обусловлено не только аэротехногенным загрязнением, но и естественными литологическими, геохимическими и почвенно-геохимическими условиями. Причем наибольшую опасность представляют свинец и цинк, поскольку их концентрации превышают не только кларки, средние по Карелии, но нередко и ПДК. При этом следует обратить внимание на трудности в интерпретации и оценке полученных данных, так как загрязняющие компоненты являются одновременно составляющими лесных биогеоценозов.

Установленные нами в результате геохимического исследования уровни кислотности, содержания серы и тяжелых металлов в почвах Валаамского архипелага являются нулевой точкой отсчета при проведении почвенного мониторинга, направленного на своевременное выявление негативных изменений и разработку мероприятий по охране и восстановлению почвенного покрова этой уникальной островной экосистемы Карелии.

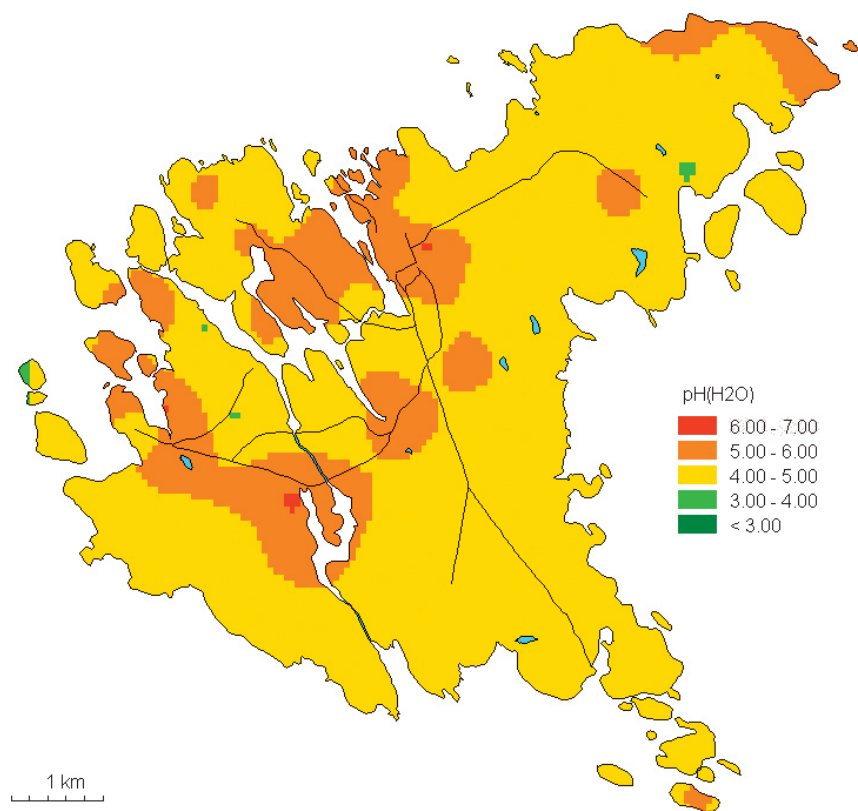


Рис. 6. Кислотность (pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) подстилок

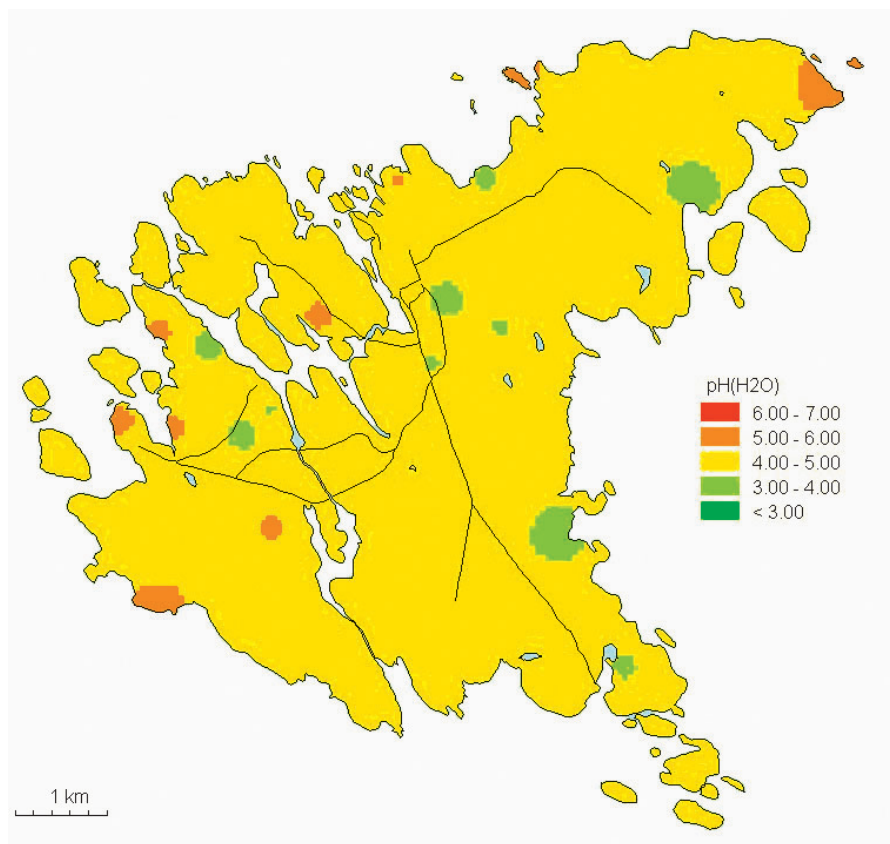


Рис. 7. Кислотность ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) минерального горизонта

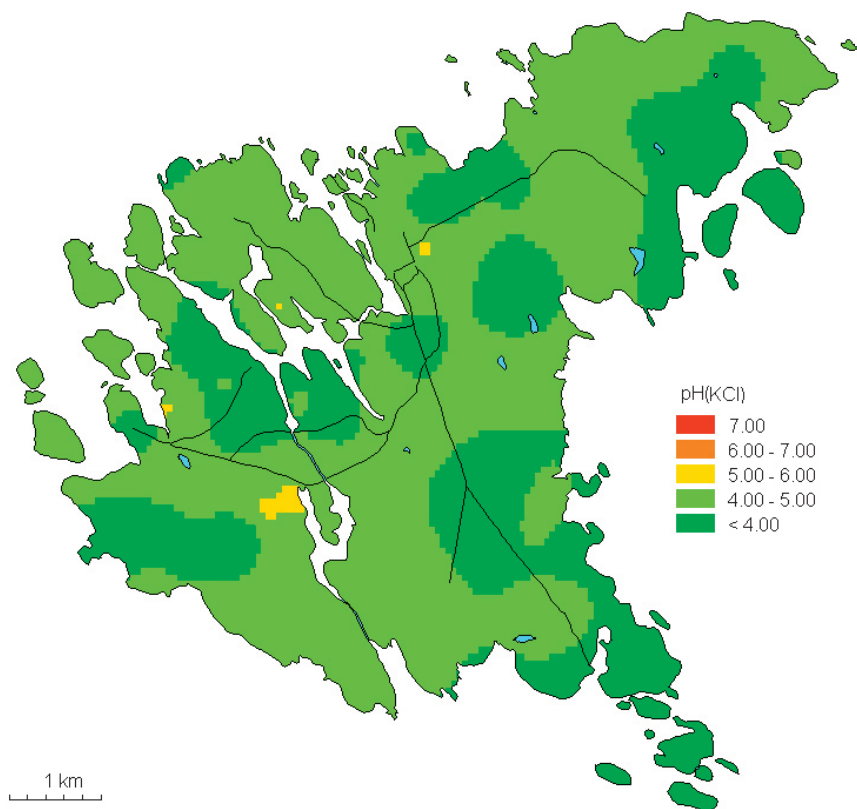


Рис. 8. Кислотность ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) подстилок



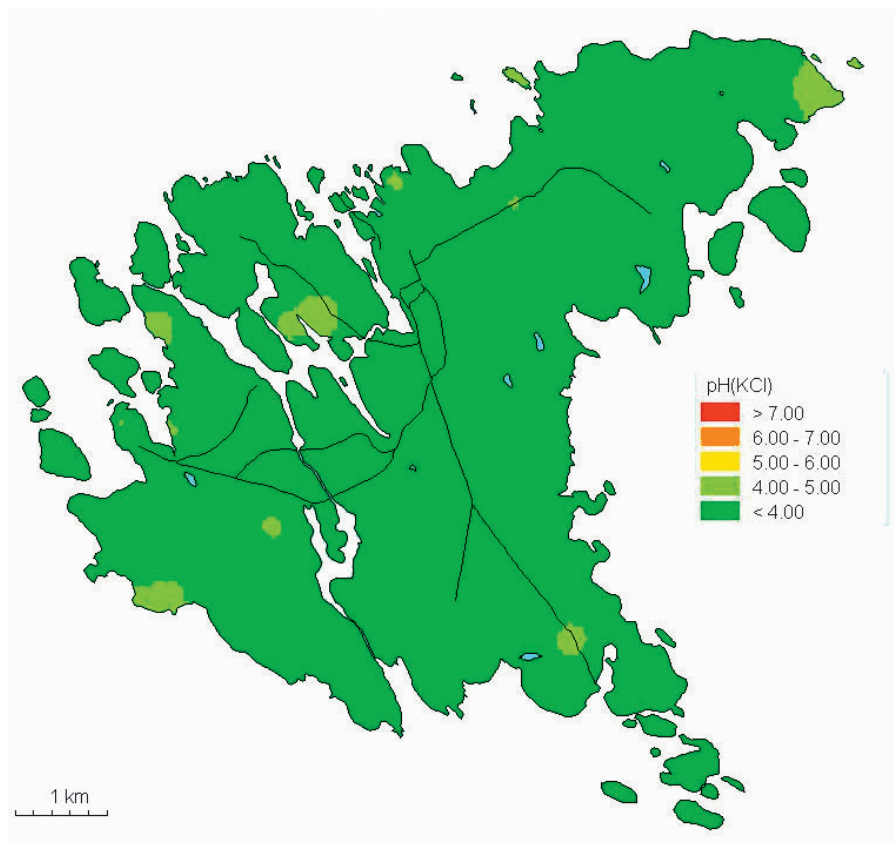


Рис. 9. Кислотность (рН<sub>KCl</sub>) минерального горизонта

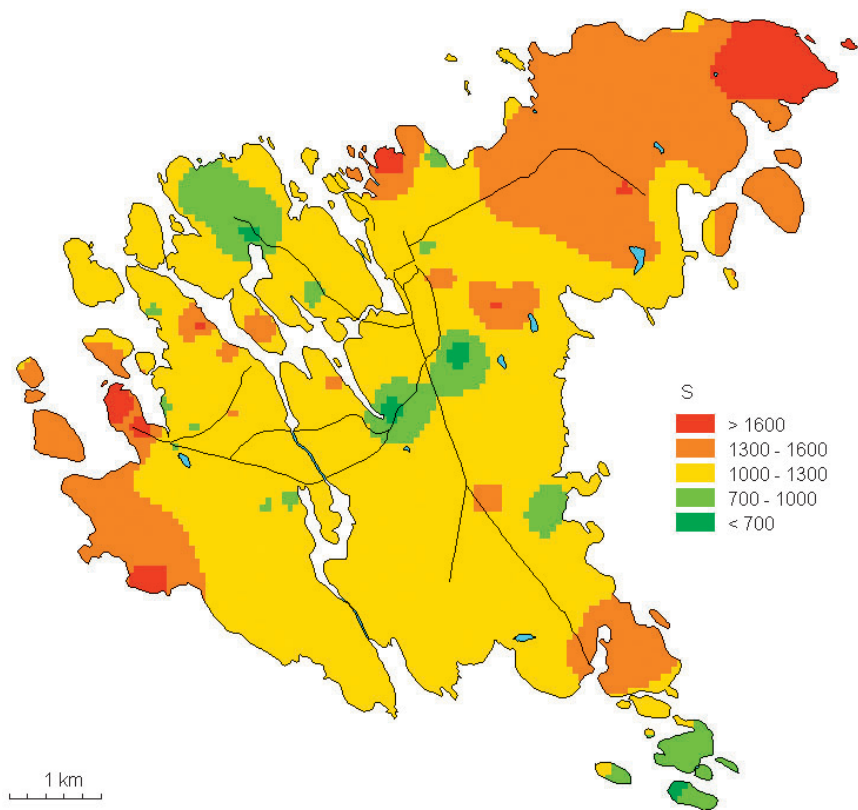


Рис. 10. Сера (S) в подстилках (мг/кг)

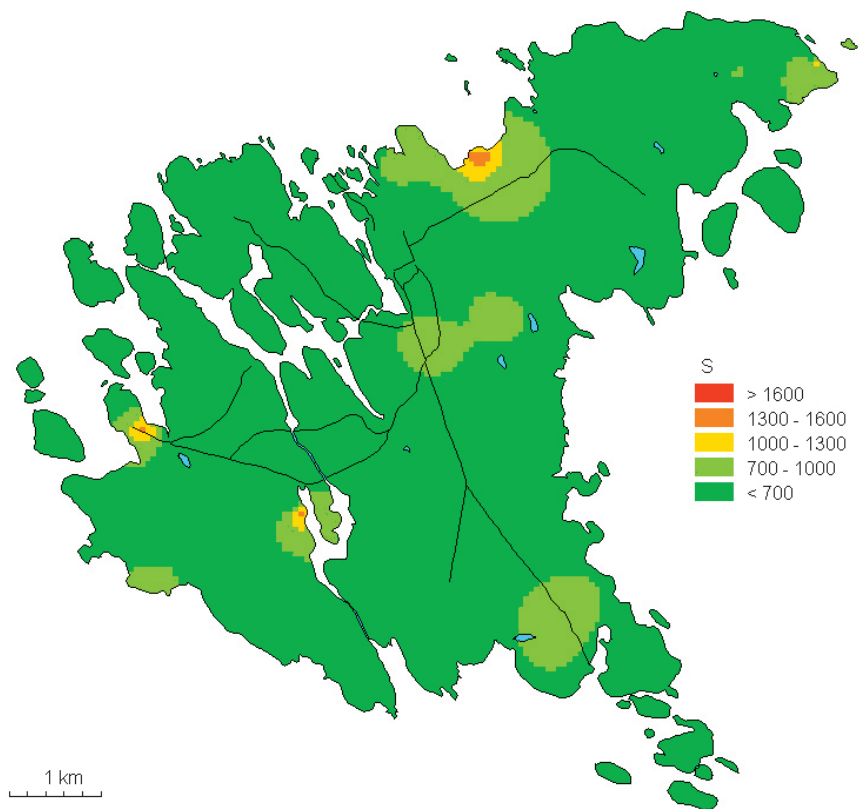


Рис. 11. Сера (S) в минеральном горизонте (мг/кг)

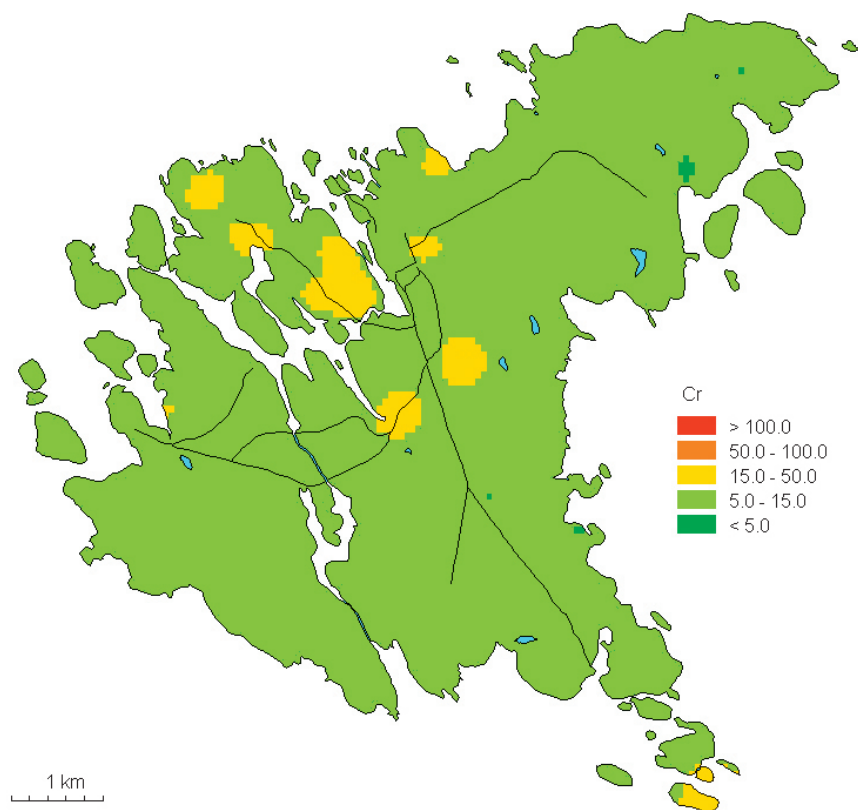


Рис. 12. Хром (Cr) в подстилках (мг/кг)

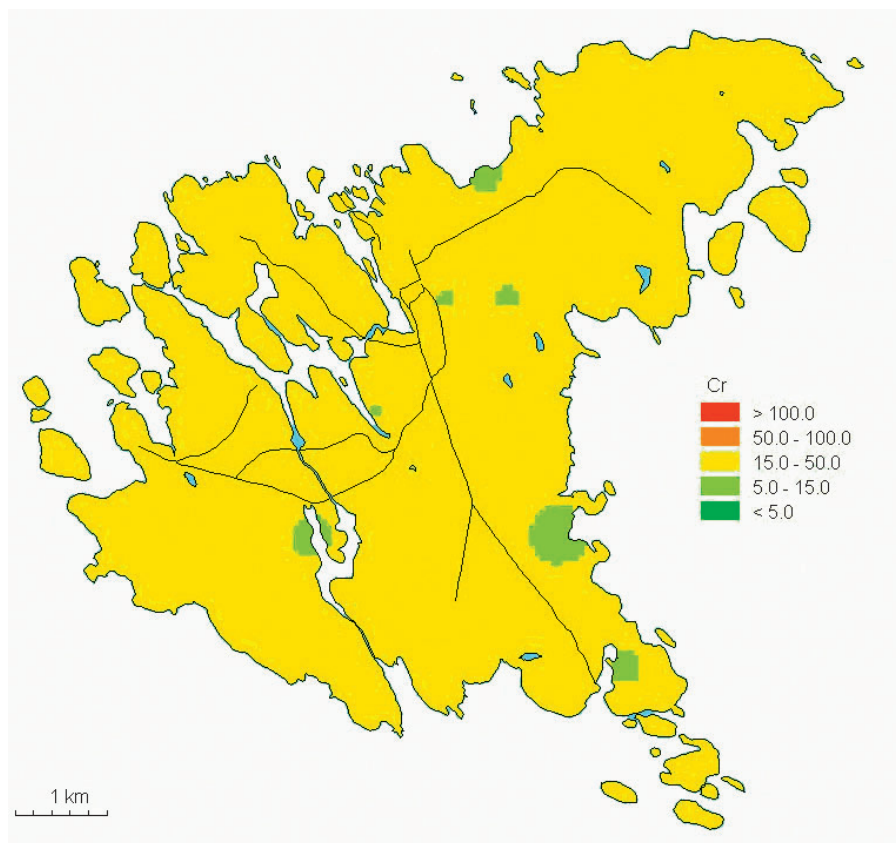


Рис. 13. Хром (Cr) в минеральном горизонте (мг/кг)

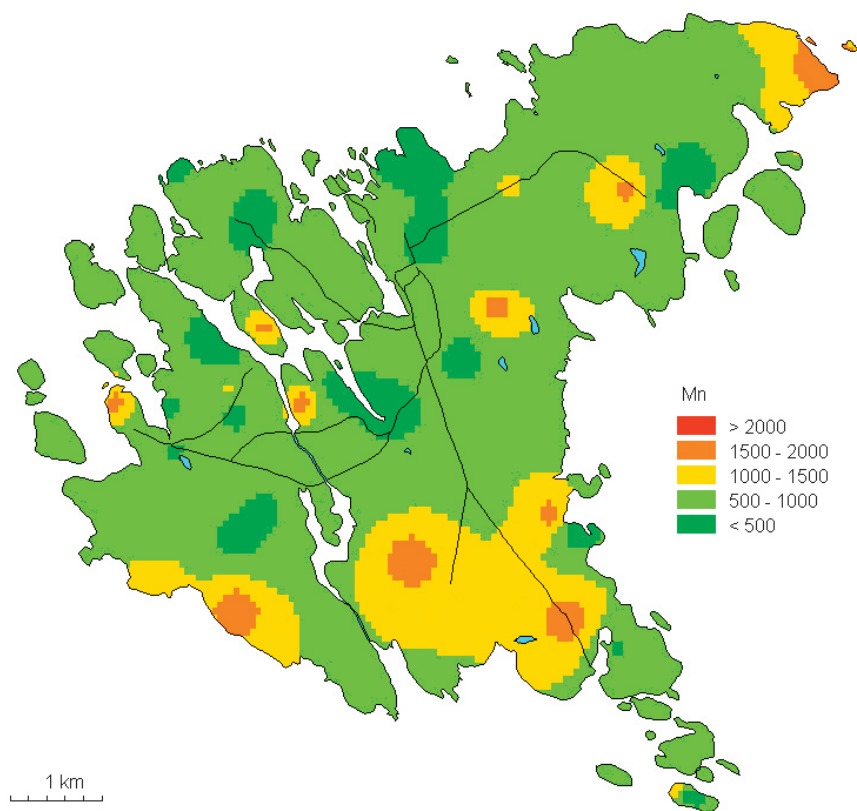


Рис. 14. Марганец (Mn) в подстилках (мг/кг)

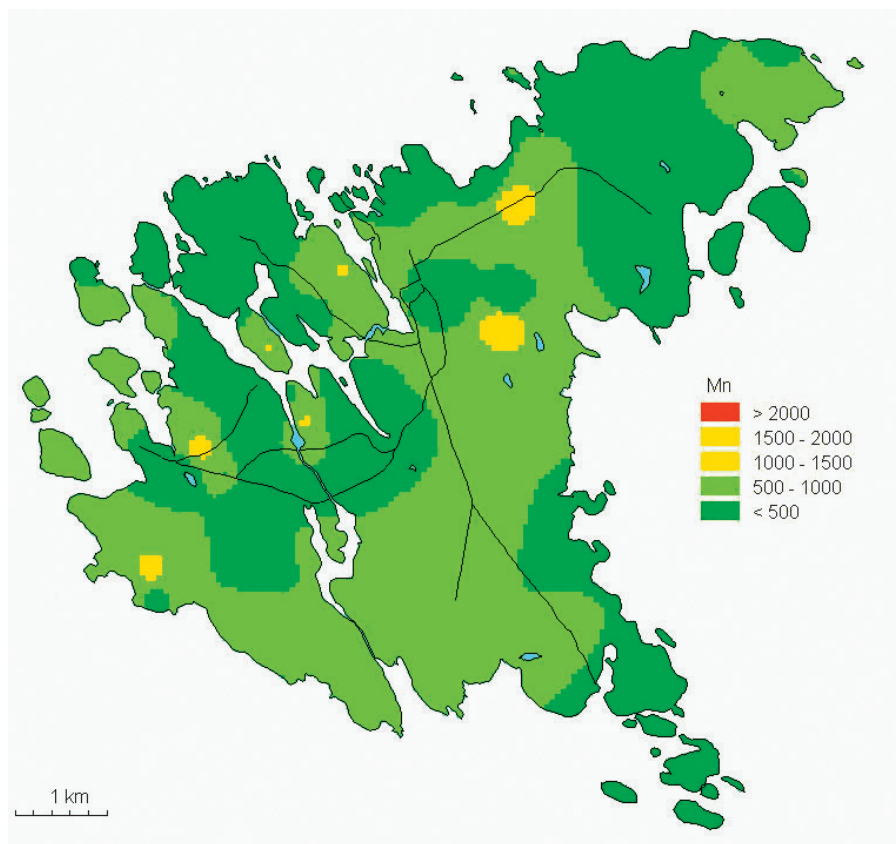


Рис. 15. Марганец (Mn) в минеральном горизонте (мг/кг)

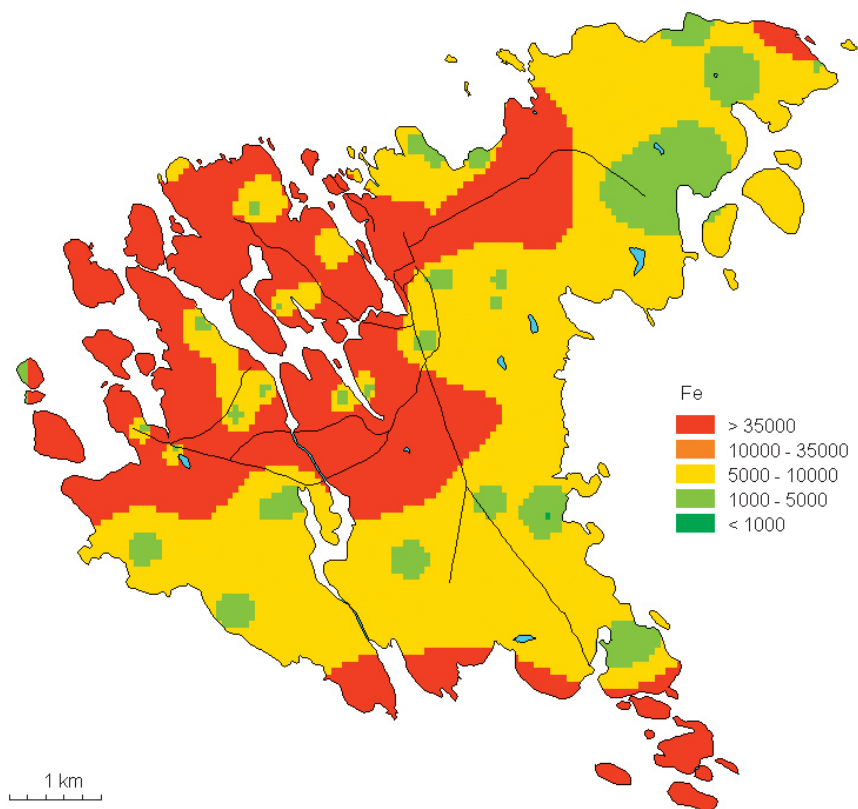


Рис. 16. Железо (Fe) в подстилках (мг/кг)



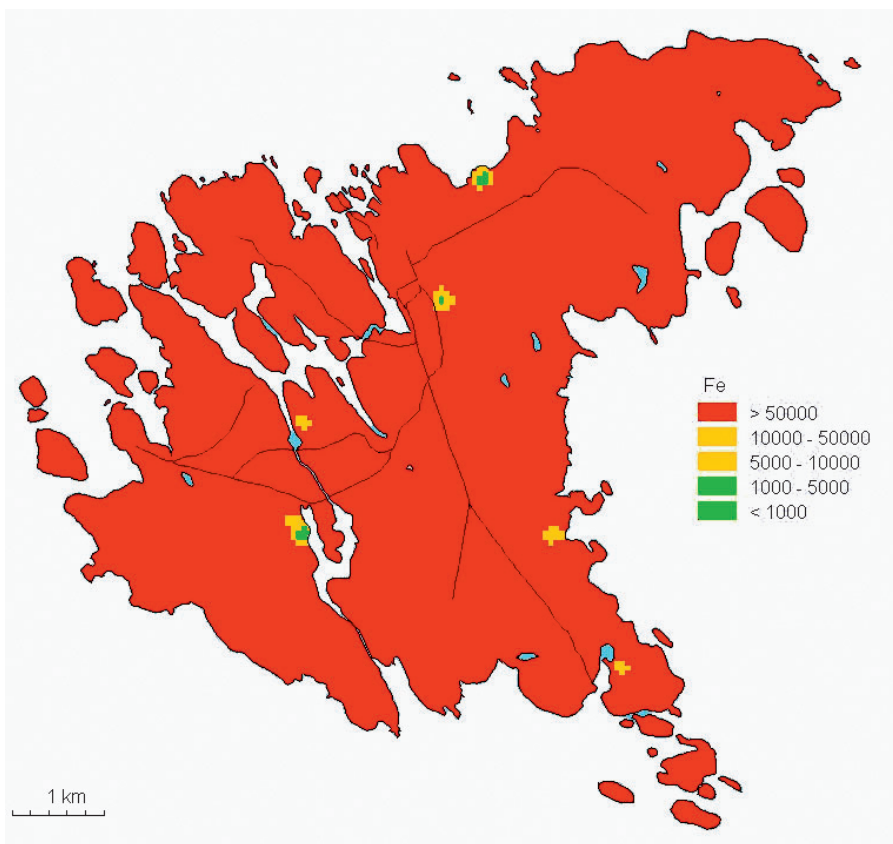


Рис. 17. Железо (Fe) в минеральном горизонте (мг/кг)

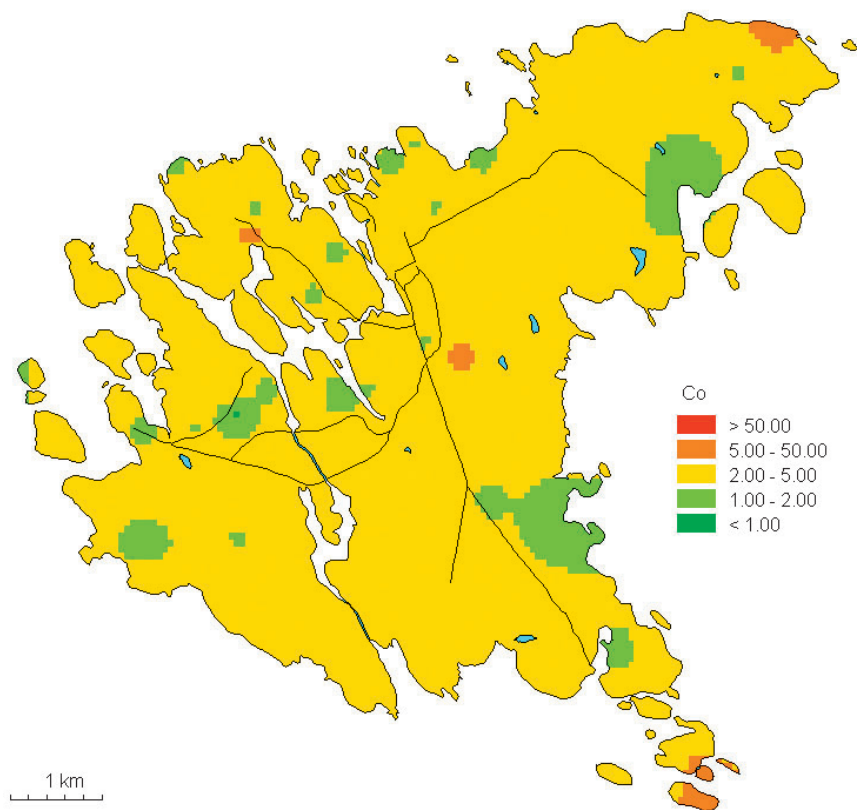


Рис. 18. Кобальт (Co) в подстилках (мг/кг)

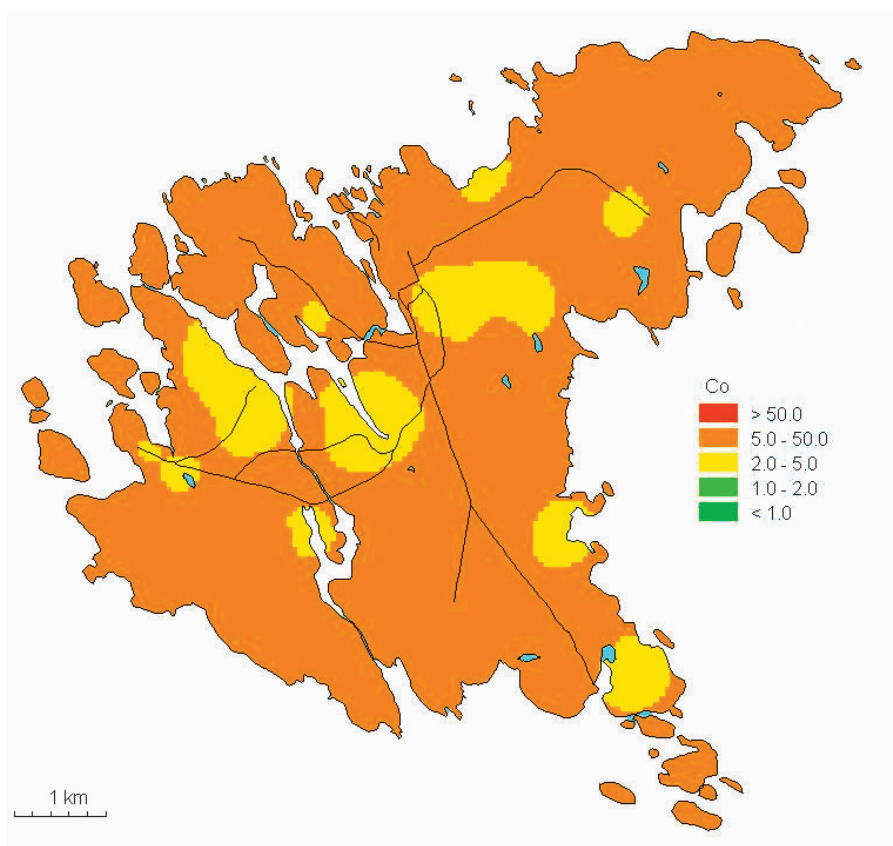


Рис. 19. Кобальт (Co) в минеральном горизонте (мг/кг)

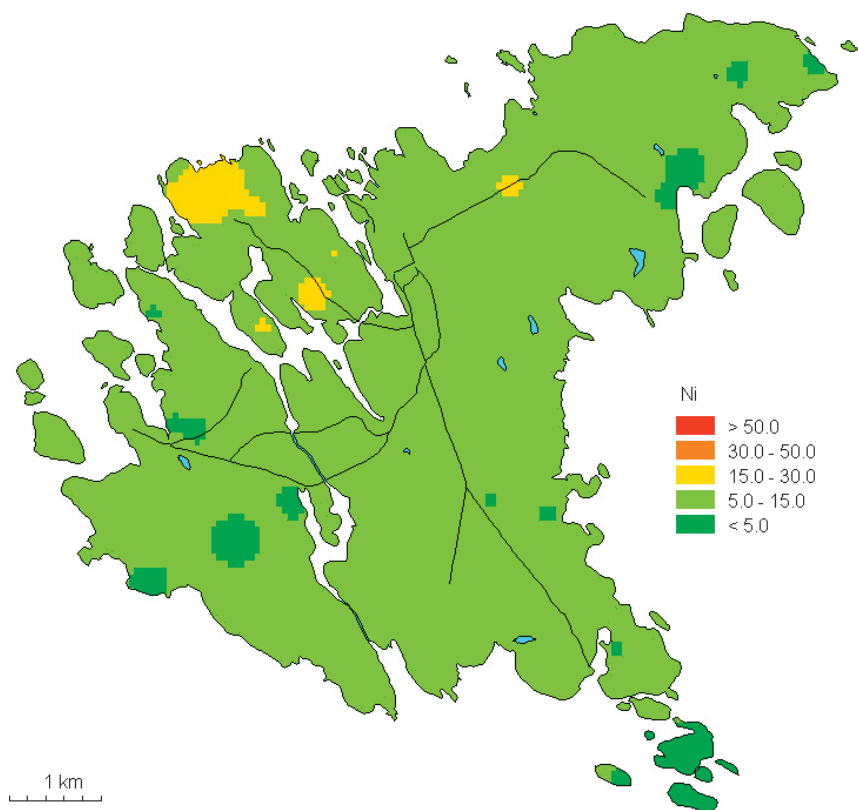


Рис. 20. Никель (Ni) в подстилках (мг/кг)

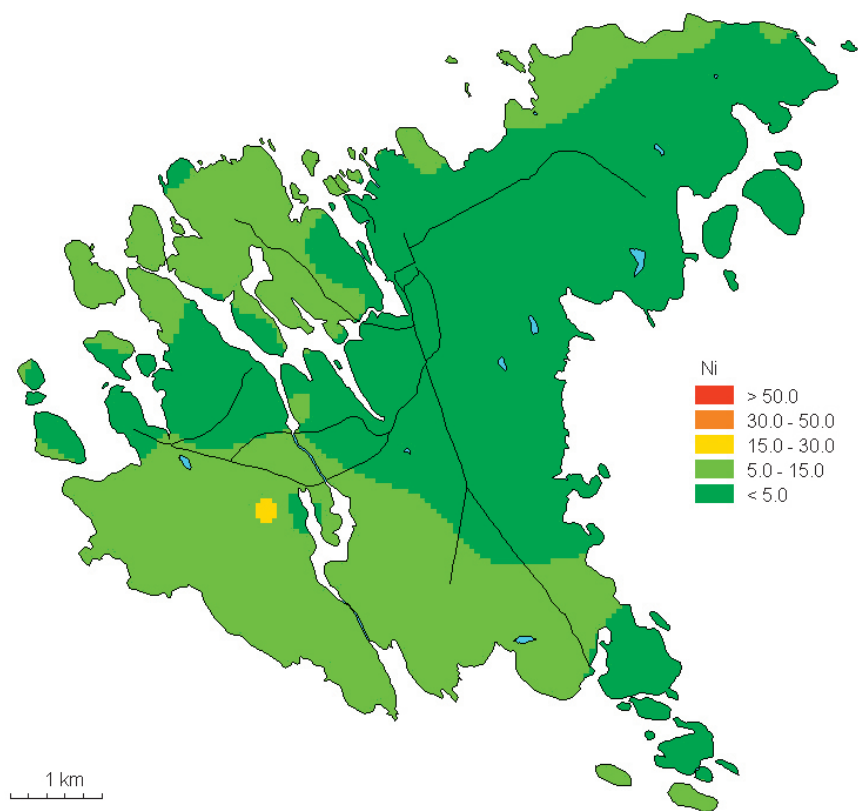


Рис. 21. Никель (Ni) в минеральном горизонте (мг/кг)

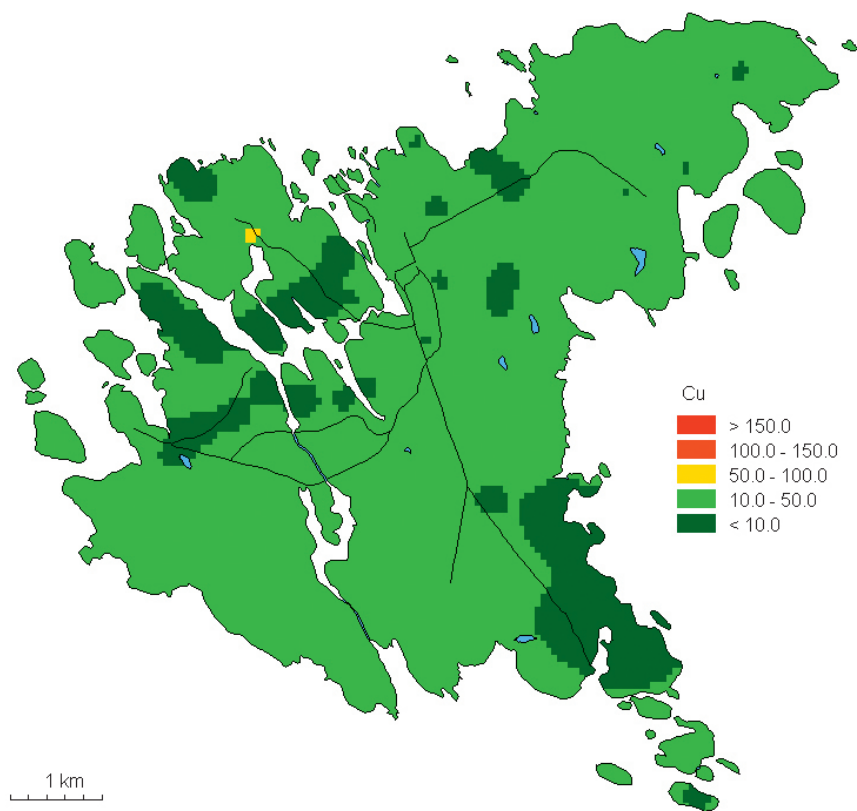


Рис. 22. Медь (Cu) в подстилках (мг/кг)

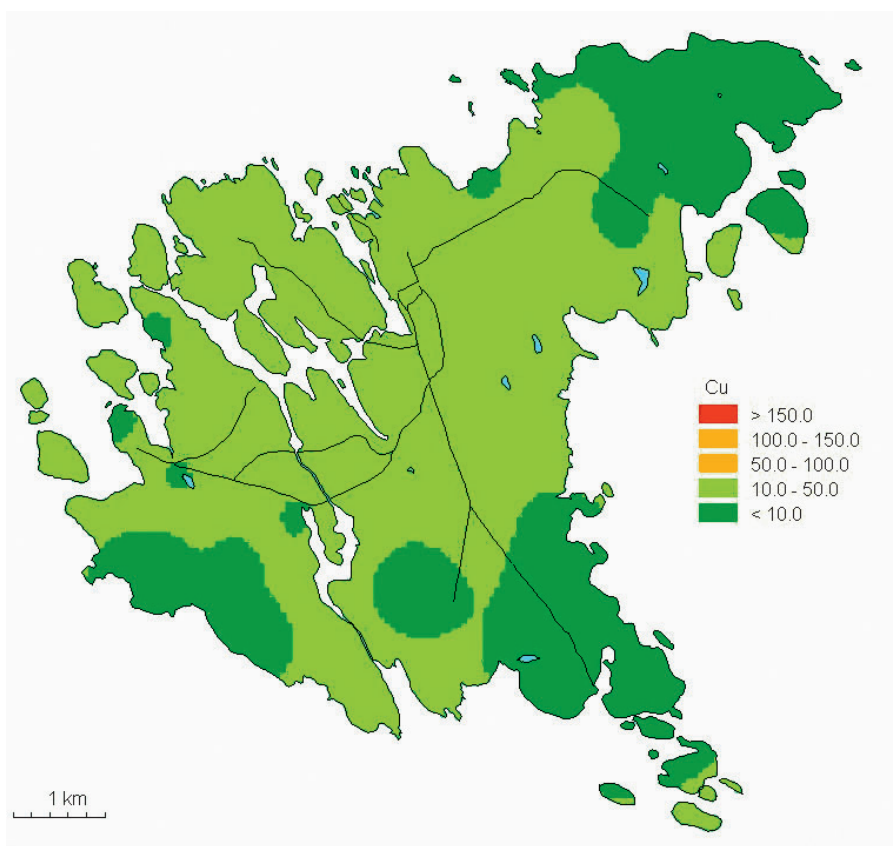


Рис. 23. Медь (Cu) в минеральном горизонте (мг/кг)

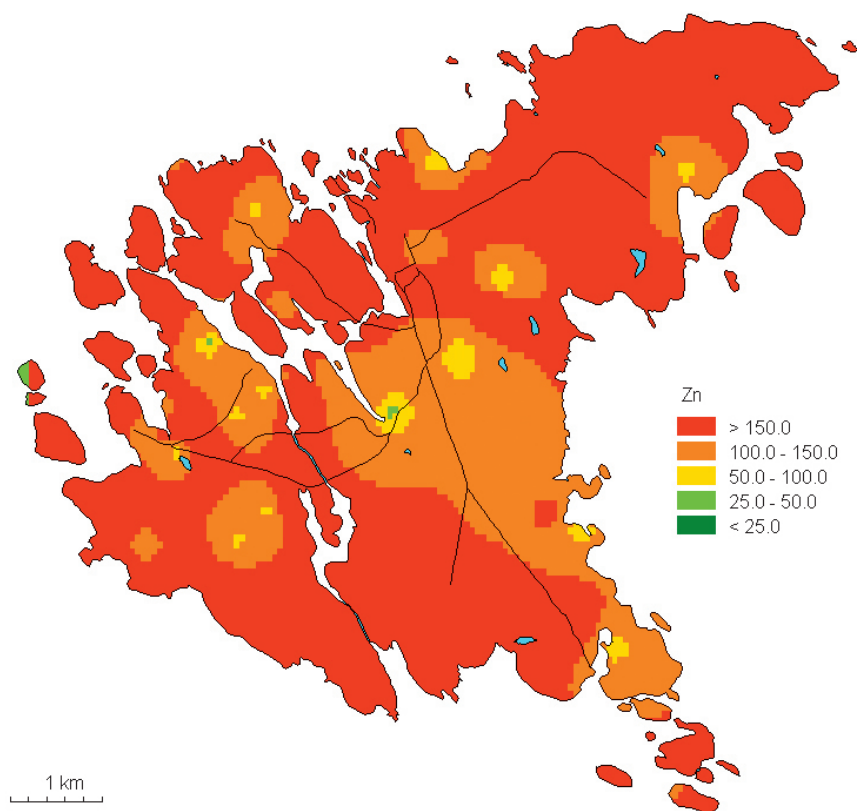


Рис. 24. Цинк (Zn) в подстилках (мг/кг)



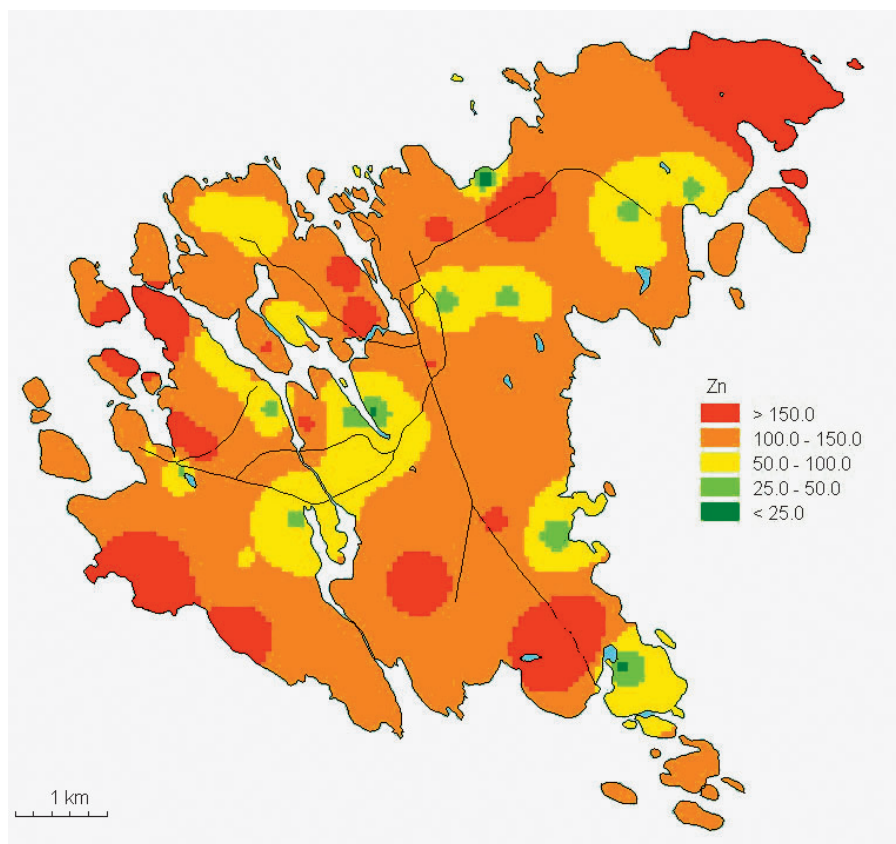


Рис. 25. Цинк (Zn) в минеральном горизонте (мг/кг)

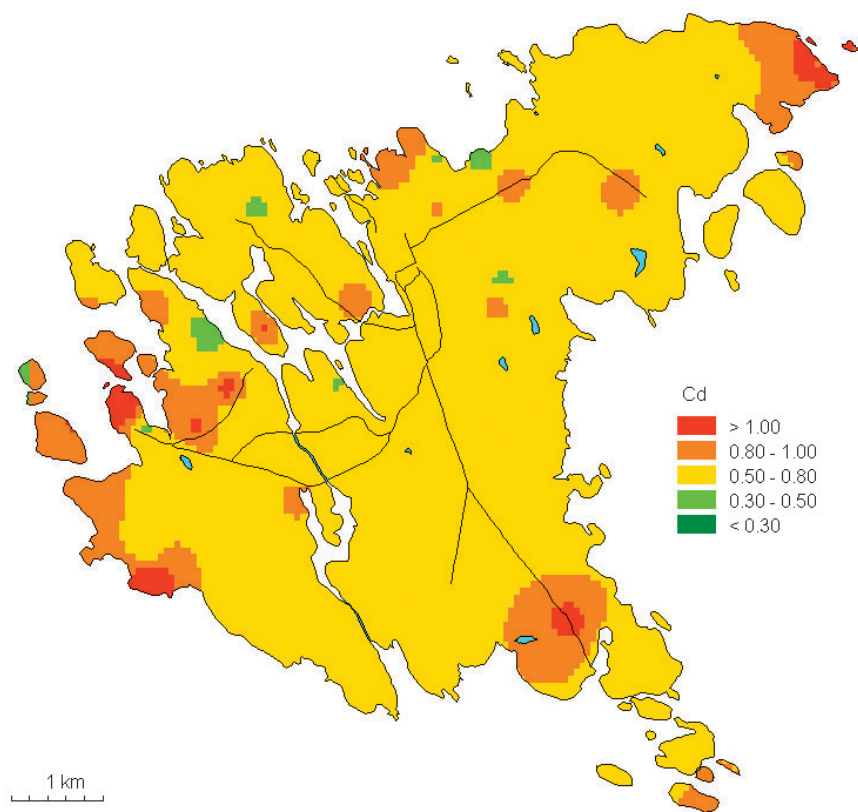


Рис. 26. Кадмий (Cd) в подстилках (мг/кг)

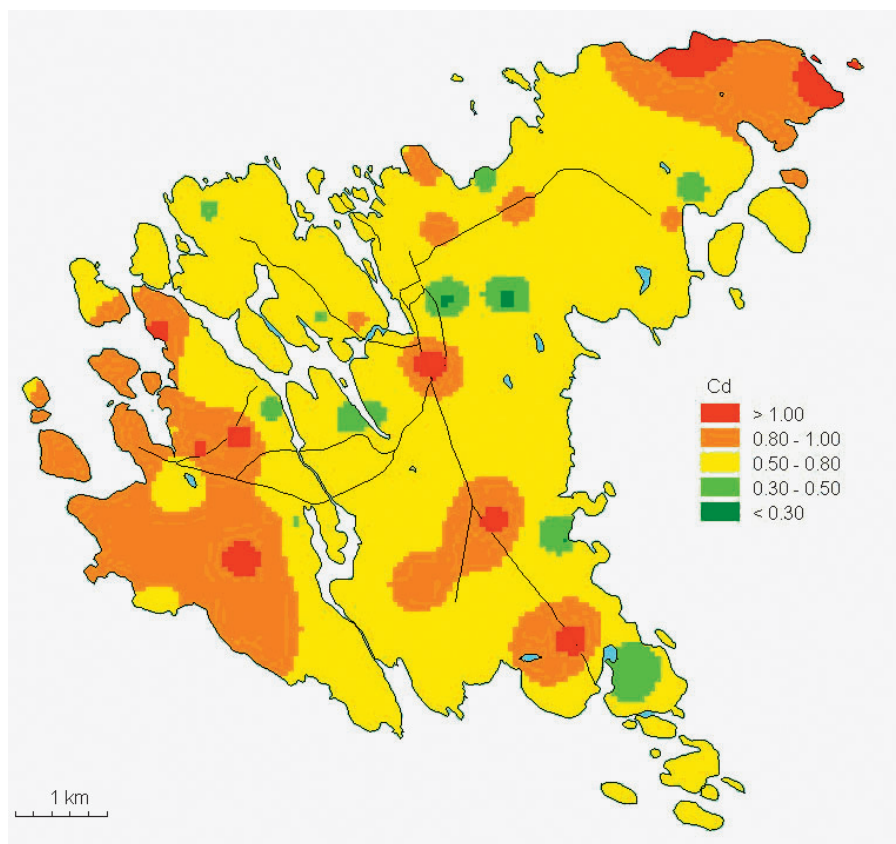


Рис. 27. Кадмий (Cd) в минеральном горизонте (мг/кг)

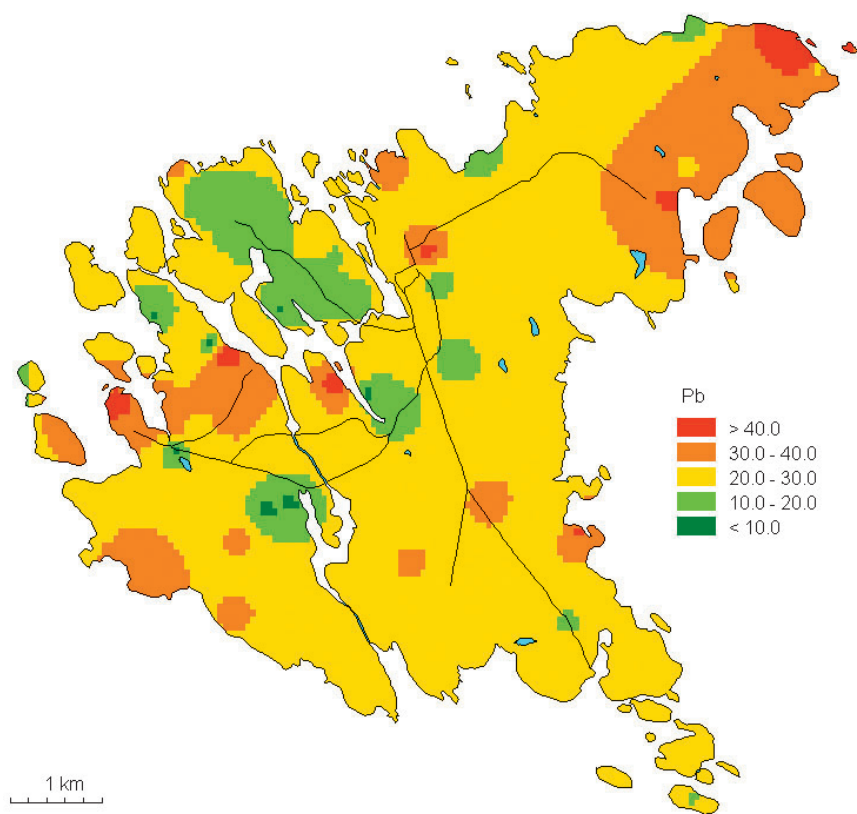


Рис. 28. Свинец (Pb) в подстилках (мг/кг)

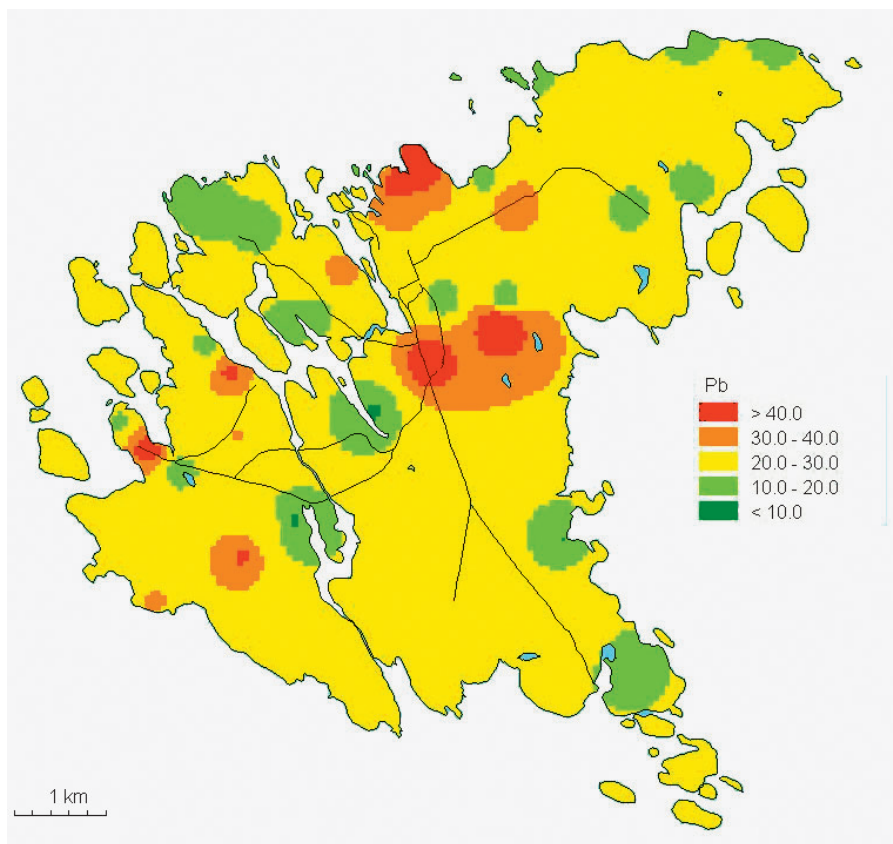


Рис. 29. Свинец (Pb) в минеральном горизонте (мг/кг)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Валаамский архипелаг с его своеобразными историко-архитектурными памятниками и природными комплексами – охраняемая территория Республики Карелия. В связи с удаленностью от суши и минимальным воздействием антропогенного фактора замкнутая островная экосистема является уникальной моделью для изучения незагрязненной природы и организации фоновой мониторинга и, в частности, почвы – одного из основных компонентов экосистемы архипелага.

В результате проведенного геохимического исследования впервые получены данные, характеризующие содержание серы и 9 тяжелых металлов в почвах и почвенном покрове Валаама, отличающихся необычайной вертикальной и горизонтальной изменчивостью, обусловленной резкими перепадами высот и частой сменой почвообразующих пород.

Сравнение местного фона с кларком показывает, что почвы Валаама отличаются пониженным содержанием марганца, меди, кобальта, железа (в 1,3–1,6 раза), а особенно никеля (в 6 раз) и хрома (в 12 раз). Исключение составляют концентрации серы, кадмия, свинца, цинка, их средние значения выше кларковых в 1,1; 1,5; 2,5; 3 раза, соответственно.

По сравнению с территорией всей Карелии лесные подстилки на Валааме отличаются пониженным (в 4,5 раза) содержанием меди. Вместе с тем отмечается более интенсивное (в 2–4 раза) накопление в них марганца, цинка, железа, связанное с особенностями почвенного покрова островной экосистемы, в составе которого преобладают почвы буроземного типа, формирующиеся на основных породах (габбро-диабаз), обогащенных этими элементами.

Наблюдается аккумуляция серы, марганца, цинка и никеля в горизонте лесной подстилки, железа, кобальта и хрома – в нижележащем минеральном горизонте. Дифференциация по содержанию остальных рассматриваемых элементов (Cu, Pb, Cd) в верхней части почвенного профиля выражена слабо.

Пространственное распределение серы и микроэлементов на обследованной территории неравномерное и вызвано, прежде всего, пестротой почвенного покрова и геохимической контрастностью меняющихся пород. Коэффициенты вариации концентрации составляют 30–50% для серы, Cd и Pb, 50–80% – для Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn и 130% для Fe.

Картирование распределения химических элементов в почвенном покрове Валаама выявило участки с пониженным содержанием элементов и зоны концентрирования, формирующиеся под влиянием как природных, так и антропогенных факторов.

Анализ пространственного распределения исследованных элементов показывает более интенсивное накопление кадмия, цинка, свинца, марганца, а также серы в почвах прибрежных территорий, в основном в западной части о. Валаам, где имеется больше потенциальных источников антропогенного воздействия (загрязнения). Это наиболее посещаемая паломниками и туристами часть острова, здесь располагаются монастырь, многочисленные памятники истории и архитектуры, гостиница, пристань, поселок Валаам. Здесь же наиболее часто встречаются несанкционированные свалки и захламлинные участки.

Данные свидетельствуют о заметном накоплении цинка (низкий и средний уровень загрязнения по шкале экологического нормирования почв, по: Обухов, Ефремова [28]) в верхнем органогенном горизонте почв на значительной территории архипелага. Накопление цинка, а также свинца может вырасти в важную экологическую проблему окружающей среды, поскольку их содержание в почвах превышает не только кларк, фоновые показатели по Карелии, но нередко и ПДК.

Максимальные концентрации цинка приурочены к местам расположения оборонных сооружений на крайнем северо-востоке и юге о. Валаам. Здесь наряду с цинком в верхнем органогенном горизонте накапливаются и другие элементы: вблизи северного

укрепрайона – свинец, кадмий, кобальт, марганец, железо, сера; южного – железо, кобальт.

По накоплению элемента в почве выстраивается ряд приоритетности загрязнителей: Zn, Pb, Cd, Mn и сера.

Важно подчеркнуть, что в условиях сложного рельефа, малой мощности почв, большого количества осадков и их высокой интенсивности, сильных ветров особенно велика биосферная, рекреационная и защитная роль валаамского леса. Лесные экосистемы здесь служат биогеохимическим барьером для серы и тяжелых металлов, концентрируя их в верхних органогенных горизонтах. Нарушение растительного покрова ведет к снижению их природной защитной роли.

В природоохранных целях на участках с сильно поврежденным почвенным покровом рекомендуется подсыпка почвы или органогенного материала. Предупреждению переноса его на склоновых местоположениях будет способствовать задернение. Для того чтобы предотвратить перенос в результате дефляции и водной эрозии почвы, проводится облесение путем посадки в лунки, заполненные плодородным слоем почвы. На территориях с сильно деградированными почвами необходима засыпка оврагов, организация ливнестоков, после чего возможна посадка древесных растений и посев трав. На сильнозагрязненных землях сельскохозяйственного использования (пашни, огороды) рекомендуется замена верхнего сильно загрязненного тяжелыми металлами слоя на незагрязненный плодородный. Закреплению тяжелых металлов в почве и снижению их миграционной способности в системе почва–растение способствуют понижение почвенной кислотности, повышение емкости катионного обмена и содержания органического вещества. В роли химических мелиорантов выступают известь, навоз, фосфорные удобрения. Этот прием может быть использован на ограниченных площадях, так как интенсивный вынос металлов из почвы может привести к загрязнению поверхностных вод.

Приведенные материалы позволяют экологическую ситуацию на территории Валаамского архипелага оценить как удовлетворительную. Островная экосистема вполне может быть отнесена к фоновой, она находится в основном под влиянием глобального пере-



носа загрязнителей. Изучение современного уровня содержания химических элементов в почвах позволило создать базовую основу для фонового мониторинга на территории архипелага, перспективного района развития рекреации и туризма, в интересах сохранения уникальной природы Валаама.

## CONCLUSIONS

Valaam Archipelago, with its peculiar historical-architectural monuments and natural complexes, is a nature reserve in Republic of Karelia. Owing to remoteness from the mainland and low human impact the closed insular ecosystem is a unique model for investigating unpolluted nature and setting up background monitoring, namely of soil – a major component of the ecosystem.

The geochemical study was the first one to yield data on the content of sulphur and 9 heavy elements in the soils and soil cover of Valaam, which demonstrate very high vertical and horizontal variation due to steep elevation changes and frequent alternation of parent rocks.

Comparing local background with clarke one can see Valaam soils have lower concentrations of manganese, copper, cobalt, iron (1,3–1,6 times), and especially of nickel (6 times) and chromium (12 times). Exceptions are concentrations of sulphur, cadmium, lead, zinc, which means are 1,1; 1,5; 2,5; 3,0 times higher than clarke values.

Compared to Karelia at large, forest litters in Valaam have a lower (4,5 times) copper content. On the other hand, they show more intensive (2–4 times) accumulation of manganese, zinc, iron. The reason for that is characteristics of the insular ecosystem's soil cover, which is dominated by brown earth developing over bedrock (gabbro diabase) rich in these elements.

Sulphur, manganese zinc and nickel tend to accumulate in the forest floor, iron cobalt and chromium – in the underlying mineral horizon. The rest of the elements studied (Cu, Pb, Cd) show little differentiation by concentration in the upper part of the soil profile.

Spatial distribution of sulphur and trace elements in the study area is uneven, due primarily to a motley soil cover and of geochemical contrast between alternating rock species. Coefficients of variation of

the concentrations are 30–50% for sulphur, Cd and Pb, 50–80% – for Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn and 130% for Fe.

Mapping of the distribution of chemical elements in the soil cover of Valaam revealed sites with lower content of the elements and zones of their high concentration of both natural and anthropogenic genesis.

Analysis of the spatial distribution of the elements proves cadmium, zinc, lead, manganese and sulphur accumulation to be more intensive in soils along the shore, mainly in the western part of Valaam Isl., where potential sources of human impact (pollution) are more numerous. This is the part of the island most often visited by pilgrims and tourists. It holds the monastery, many historical and architectural monuments, the hotel, the harbour, the village of Valaam. This is also the place where unauthorized dumps and littered areas occur most often.

Our data indicate notable accumulation of zinc (low and moderate pollution according to the environmental soil grading scale by Obukhov & Yefremova [28]) in the upper organic horizon of soils in a substantial part of the archipelago territory. Zinc and lead accumulation in soils may grow into a severe environmental problem, since their concentration in soils exceeds not only clarke and reference values for Karelia, but often also MPC.

The highest zinc concentrations were found in locations of fortification facilities in the utter north-east and south of Valaam Isl. In addition to zinc, the upper organic horizon in these areas has accumulated other elements: by northern fortifications – lead, cadmium, cobalt, manganese, iron, sulphur; by southern fortifications – iron, cobalt.

As regards accumulation of elements in the soil the following pollutant priority series can be drawn: Zn, Cd, Pb, Mn and sulphur.

Given broken terrain, thin soils, abundant and intensive precipitation and high winds the role of Valaam forests in the biosphere, for recreation and protection is crucial. Forest ecosystems acts as a biogeochemical barrier for sulphur and heavy metals, fixing them in upper organic horizons. Disturbance of the plant cover deteriorates the protective function of forests.

To secure nature conservation, soil or other organic material should be added to sites with heavily impaired soil cover. Sod establishment would prevent downslope transport of the material. A recommendable

measure to prevent soil weathering by wind or water is stand establishment by planting trees in holes filled with fertile soil. In areas with heavily degraded soils gullies must be filled up and gutters built, whereupon tree planting and swarding may be carried out. It is recommended that the upper layer of farmland (arable fields, kitchen gardens) heavily polluted with heavy metals is replaced with unpolluted fertile earth. Heavy metals can be fixed in the soil and their capacity to migrate in the soil/plant system can be drawn down by reducing soil acidity, amplifying cation exchange capacity and organic matter content. Potential chemical remediation agents are lime, manure, phosphate fertilizers. This method is applicable in relatively small areas, since intensive weathering of metals from the soil may result in contamination of surface waters.

Drawing upon the data obtained, one can describe the environmental situation in the Valaam Archipelago as satisfactory. The insular ecosystem may well be classified as a reference one, exposed mainly to the impact of global pollution transport. Surveys of the present-day content of chemical elements in the soils created the basis for background monitoring in the Valaam Archipelago, a promising recreational and tourism area, in order to conserve this unique nature.

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

*Аккумуляция* – накопление или увеличение концентрации вещества в толще почвы или породы, когда поступление его выше выноса.

*Аккумуляция биогенная* – процессы накопления в почве химических веществ, обусловленные жизнедеятельностью растений, микрофлоры и фауны.

*Антропогенная нагрузка* – влияние человека, его деятельности на природную среду.

*Антропогенное воздействие* – изменения физических, химических или биологических свойств почвы, вызванные деятельностью человека.

*Ареал почвенный элементарный (А.п.э.)* – площадь, занимаемая однородным почвенным образованием, внутри которого отсутствуют какие-либо почвенно-географические границы. Границы между А. п. э. являются границами между почвами, относящимися к различным классификационным группам (разрядам, разновидностям, видам, родам и т. д.).

*Аэрозоли* – твердые или жидкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в газообразной среде (атмосфере).

*Биогенные элементы* – это химические элементы, постоянно входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции.

*Взвешенная пыль* – твердые частицы в воздухе, компоненты загрязнения атмосферы, на 90% состоит из мелкодисперсной фракции.

*Выброс* – поступление в окружающую среду загрязняющих веществ от промышленных или сельскохозяйственных предприятий.

*Вынос* – перемещение растворенных веществ, вызванное передвижением воды и других жидкостей.

*Габбро* (по названию местности в Сев. Италии) – магматическая кристаллическая горная порода темного цвета, содержащая 45–50% кремнезема. Состоит из основных плагиоклазов, пироксенов и небольшого количества рудных минералов.

*Габбро-диабаз* – жильная порода, промежуточная между габбро и диабазом, обладающая офитовой (диабазовой) структурой и состоящая из основного плагиоклаза и моноклинного пироксена (обычно авгита или титанавгита) с акцессорными сфеном, апатитом, титаномagnetитом, иногда – биотитом и роговой обманкой.

*Геохимические провинции* – области, геохимические однородные и характеризующиеся определенными ассоциациями химических элементов.

*Геохимический фон* – средняя величина природной вариации содержания химических веществ. Он устанавливается на территории, где с большой надежностью можно предположить отсутствие природных или антропогенных источников поступления химических элементов.

*Гипергенные процессы* – процессы, происходящие в наружных частях Земли, захватывающие атмосферу, гидросферу и неглубокие слои литосферы.

*Диабаз* – магматическая глубинная порода, состоящая главным образом из плагиоклаза и авгита, иногда оливина, первичные минералы изменены с образованием хлорита, эпидота, альбита, актинолита, серпентинита. Цвет темный, характерен зеленый оттенок.

*Загрязнение* – с классических геохимических позиций есть изменение химических свойств окружающей среды, не связанное с естественными природными процессами. В настоящее время различают естественное и техногенное загрязнение. К природным источникам поступления тяжелых металлов относятся: выветривание горных пород и минералов, эрозионные процессы, вулканическая деятельность. К техногенным – добыча и переработка полезных ископаемых, сжигание топлива, влияние транспорта, сельское хозяйство.

*Загрязнение почвы глобальное* – химическое загрязнение почвы, возникающее вследствие дальнего переноса загрязняющего вещества в атмосфере на расстоянии, превышающем тысячу километров от любых источников загрязнения.

*Загрязнение почвы локальное* – химическое загрязнение почвы вблизи одного или совокупности нескольких источников загрязнения (свалки, фермы, склады химических веществ и др.).

*Загрязнение почвы региональное* – химическое загрязнение, возникающее вследствие совокупного влияния переноса в атмосфере загрязняющих веществ и других источников загрязнения и охватывающее крупные территории интенсивного хозяйственного пользования.

*Загрязнение почвы химическое* – изменение химического состава почвы в результате антропогенной деятельности, способное вызвать ухудшение их качества.

*Загрязнение промышленное (техногенное)* – загрязнение почв и других компонентов биосферы за счет функционирования промышленности.

*Загрязняющие вещества (поллютанты)* – химические соединения, повышенное содержание которых в биосфере и ее компонентах вызывает негативную токсико-экологическую ситуацию.

*Кларк* – среднее содержание химического элемента в земной коре, гидросфере, в материнских породах, почвах, живом веществе и пр.

*Микроэлементы* – в геохимии понимаются элементы, содержащиеся в данной системе в малых количествах (порядка 0,01% и менее).

*Мониторинг* – система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под влиянием антропогенных воздействий.

*Мониторинг химического загрязнения почвы* – система регулярных наблюдений за фактическими уровнями, оценка последствий фактических и прогностических уровней загрязненности и выявление источников загрязнения почвы.

*Опасные для почвы вещества* – те, которые вследствие их свойств, количества или концентраций отрицательно влияют на функции почв и на их использование.

*Ориентировочно допустимая концентрация химического соединения в почве (ОДК)* – норматив, установленный расчетным путем.

*Подвижность химических соединений в почве* – способность соединений химических элементов переходить из твердых фаз почвы в почвенный раствор.

*Подкисление почвы* – изменение кислотности почвы в сторону уменьшения pH, вызванное поступлением загрязняющих почву химических веществ.

*Подстилка* – слой лежащих на поверхности почвы измельченных и затронутых разложением мертвых органических остатков наземного древесного опада. Подстилку обычно причисляют к верхнему почвенному горизонту. Его можно рассматривать и как самостоятельное органическое новообразование, связанное с почвой переходным горизонтом.

*Подщелачивание почвы* – изменение кислотности почвы в сторону увеличения pH, вызванное поступлением загрязняющих почву химических веществ.

*Показатели химического состояния почв* – характеристики химических свойств почв, отражающие их статическое состояние на момент почвенных процессов, указывающие на скорость и направление природного и антропогенного почвообразования.

*Предельно допустимая концентрация загрязняющего почву химического вещества (ПДК)* – максимальное содержание загрязняющего почву вещества, не вызывающего прямого или косвенного негативного влияния (включая отдаленные последствия) на природную среду и здоровье человека.

*Приоритетный компонент загрязнения атмосферы, почвы и т. д.* – вещество, подлежащее контролю в первую очередь.

*Региональный* – относящийся к какой-либо отдельной области, отдельной стране или нескольким соседним странам.

*Рекреационный* – предназначенный для отдыха.

*Техногенез* – совокупность геохимических и геофизических процессов, связанных с деятельностью человека.

*Токсичность* – вредное воздействие химических элементов или соединений на живые организмы.

*Толерантность* – способность живых организмов сохранять жизнедеятельность в условиях избытка элемента в окружающей среде.

*Тяжелые металлы (ТМ)* – это химические элементы с атомной массой свыше 50 и (или) имеющие плотность более 5 г/см<sup>3</sup>, обладающие свойствами металлов или металлоидов.



*Фон региональный* – уровень загрязнения атмосферы, формирующийся под действием внешних источников загрязнения антропогенного и природного происхождения, а также внутренних – природных процессов эмиссии загрязняющих веществ в нижние слои тропосферы в региональном масштабе.

*Фоновое содержание вещества в почве* – содержание вещества в почве, соответствующее ее природному составу.

*Фоновое загрязнение* – уровень загрязнения, сложившийся на данной территории от всей совокупности источников загрязнения в настоящее время.

*Фоновое содержание вещества в объектах окружающей среды* – среднее содержание, т. е. естественное содержание каждого элемента с добавлением элементов-загрязнителей, которое является следствием глобального переноса загрязнителей.

*Экологическая оценка почвы* – оценка ее экологического состояния на данный момент времени, степени ее изменения и прогнозирования возможных изменений в функционировании почвы и экосистемы в целом при воздействии на нее какого-либо внешнего фактора.

*Элювий* – продукты разрушения (выветривания) коренных пород, остающиеся на месте своего образования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агроклиматический справочник по Карельской АССР. Л., 1959. 184 с.
2. Безносиков В. А., Лодыгин Е. Д., Кондратенко Б. М. Оценка фоновое содержания тяжелых металлов в почвах Европейского Северо-Востока России // Почвоведение. 2007. № 9. С. 1064–1070.
3. Белоусова Н. А., Кравченко А. В., Крутов В. И. и др. Флора и растительность // Экосистемы Валаама и их охрана. Петрозаводск, 1989. С. 85–157.
4. Бериня Д. Ж., Калвина Л. К. Региональные фоновые выпадения соединений металлов в Латвийской ССР. Рига, 1990. 151 с.
5. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л., 1975. 448 с.
6. Беус А. А., Грабовская Л. И., Тихонова Н. В. Геохимия окружающей среды. М., 1976. 248 с.
7. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М., 1957. 237 с.
8. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
9. Вольфовская Е. Ю. Тяжелые металлы в почвах о. Валаам // Тяжелые металлы в окружающей среде: Тез. докл. Междунар. симп. Пущино, 1996. С. 65–66.
10. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: Методические указания. М.: Госсанэпиднадзор России, 1999. 38 с.
11. Глазовский Н. Ф., Учватов В. П. Химический состав атмосферной пыли и его изменение после осаждения на кроны деревьев // Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. Таллинн, 1982. Т. 2. С. 67–87.
12. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2000 году / Науч. ред. А. Д. Волков. Петрозаводск, 2001. 247 с.
13. Давиденко Н. М. Геохимические аспекты состояния географической среды (на примере России). Новосибирск, 1999. 416 с.

14. Иванова Е. Н. Классификация почв СССР. М., 1976. 204 с.
15. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск, 1991. 151 с.
16. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. М., 1989. 439 с.
17. Кищенко Т. И., Козлов И. Ф. Леса Карельской АССР // Леса СССР. М., 1966. Т. 1. С. 157–196.
18. Кучко А. А. Леса Валаама и их значение // Природные комплексы Валаама и воздействие на них рекреации. Петрозаводск, 1983. С. 5–33.
19. Ладожское озеро (развитие рельефа и условия формирования четвертичного покрова котловины). Петрозаводск, 1978. 205 с.
20. Лазарева И. П., Морозова Р. М. Влияние рекреации на почвы сосновых насаждений о. Валаам // Природные комплексы Валаама и воздействие на них рекреации. Петрозаводск, 1983. С. 118–135.
21. Левкина Т. И., Перевозчикова Е. М. Закономерности содержания хрома в почвах КАССР // Микроэлементы в биосфере Карелии и сопредельных районов. Кн. 1. Петрозаводск, 1976. С. 66–75.
22. Матинян Н. Н., Урусевская И. С. Почвы острова Валаам. СПб., 1999. 31 с.
23. Межрегиональное атмосферное загрязнение территорий. Республика Карелия / Под ред. В. Б. Миляева, М. С. Фещенко. СПб., 1998. 93 с.
24. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М., 1982. 112 с.
25. Морозова Р. М. Систематика почв Карелии в терминологии ФАО-ЮНЕСКО (препринт доклада). Петрозаводск, 1996. 19 с.
26. Морозова Р. М., Лазарева И. П. Почвы и почвенный покров Валаамского архипелага. Петрозаводск, 2002. 170 с.
27. Неницеску К. Общая химия: пер. с рум. М., 1968. 816 с.
28. Обухов А. И., Ефремова Л. Л. Опыт и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы: Материалы Всесоюз. конф. М., 1988. Ч. 1. С. 23–35.
29. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1995. 8 с.
30. Перельман А. И. Геохимия. М., 1989. 528 с.
31. Почвенная карта мира. Пересмотренная легенда. ФАО-ЮНЕСКО. Рим, 1990. (Перевод с англ. Б. Г. Розанова). М.: Изд-во МГУ, 1990. 136 с.
32. Природные комплексы Валаама и воздействие на них рекреации. Петрозаводск, 1983. 191 с.
33. Романов В. А. О климате Карелии. Петрозаводск, 1961. 140 с.

34. Ронконен Н. И., Кравченко А. В. Флористические особенности Валаама // Природные комплексы Валаама и воздействие на них рекреации. Петрозаводск, 1983. С. 33–59.
35. Тойкка М. А. Закономерности содержания никеля в почвах КАССР // Микроэлементы в биосфере Карелии и сопредельных районов. Кн. 2. Петрозаводск, 1976. С. 122–149.
36. Тойкка М. А., Перевозчикова Е. М., Левкина Т. И., Заварзин В. М. и др. Микроэлементы в Карелии. Л., 1973. 284 с.
37. Федорец Н. Г., Дьяконов В. В., Литинский П. Ю., Шильцова Г. В. Загрязнение лесной территории Карелии тяжелыми металлами и серой. Петрозаводск, 1998. 47 с.
38. Хохлова Т. Ю., Антипин В. К., Токарев П. Н. Особо охраняемые природные территории Карелии. Петрозаводск, 2000. 312 с.
39. Цинк и кадмий в окружающей среде. М., 1992. 200 с.
40. Шильцова Г. В. Трансформация атмосферных осадков древостоями средней тайги (на примере заповедника «Кивач») // Проблемы антропогенной трансформации лесных биогеоценозов Карелии. Петрозаводск, 1996. С. 78–91.
41. Шильцова Г. В. Роль сосновых биогеоценозов заповедника «Кивач» в формировании кислотности и состава природных вод // Природа государственного заповедника «Кивач». Тр. гос. заповедника «Кивач». Вып. 10. Петрозаводск, 2006. С. 173–184.
42. Шильцова Г. В., Ласточкина В. Г. Мониторинг атмосферных осадков в лесных экосистемах северной Карелии // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем Северо-Запада России. Петрозаводск, 2001. С. 182–191.
43. Шильцова Г. В., Ласточкина В. Г. Влияние полога соснового и березового леса на химический состав осадков в заповеднике «Кивач» // Природа государственного заповедника «Кивач». Тр. гос. заповедника «Кивач». Вып. 10. Петрозаводск, 2006. С. 180–184.
44. Экологическая ситуация в Карелии. Петрозаводск, 1993. 208 с.
45. Экосистемы Валаама и их охрана. Петрозаводск, 1989. 199 с.
46. Kloke A. Richtwerte'80. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden // Ibid. 1980. H. 1–3.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ .....	6
ГЛАВА 1. Природно-климатические условия .....	9
ГЛАВА 2. Современное хозяйственное освоение территории и источники поступления загрязняющих веществ ....	18
ГЛАВА 3. Объекты и методы исследований .....	23
ГЛАВА 4. Краткая биогеохимическая характеристика исследованных элементов .....	27
ГЛАВА 5. Содержание серы и тяжелых металлов в различных почвах .....	36
ГЛАВА 6. Распределение серы и тяжелых металлов в почвенном покрове Валаамского архипелага .....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	92
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ .....	99
ЛИТЕРАТУРА .....	104

## TABLE OF CONTENTS

FOREWORD .....	6
CHAPTER 1. Nature and climate .....	9
CHAPTER 2. Contemporary land use and sources of pollution .....	18
CHAPTER 3. Study objects and methods .....	23
CHAPTER 4. Summary of biogeochemical characteristics of the elements under consideration .....	27
CHAPTER 5. Sulphur and heavy metal content in different soils ....	36
CHAPTER 6. Distribution of sulphur and heavy metals in the Valaam Archipelago soil cover .....	51
CONCLUSIONS .....	96
GLOSSARY OF TERMS .....	99
REFERENCES .....	104

Научное издание

***Г. В. Шильцова, Р. М. Морозова, П. Ю. Литинский***

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И СЕРА  
В ПОЧВАХ ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА**

*Печатается по решению Ученого совета  
Института леса  
Карельского научного центра РАН*

*Фото Игоря Георгиевского,  
М. И. Федорова*

Редактор *М. А. Радостина*  
Оригинал-макет *Г. А. Тимонен*

Сдано в печать 26.12.08 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Times.  
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 5,21. Усл. печ. л. 5,55. Тираж экз.  
Изд. № 120. Заказ № .

Карельский научный центр РАН  
Редакционно-издательский отдел  
185003, Петрозаводск, пр. А. Невского, 50